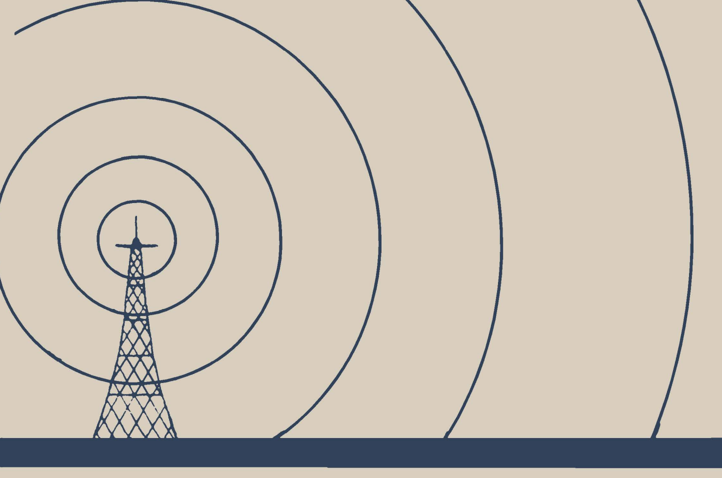


К. Д. ОСИПОВ

ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

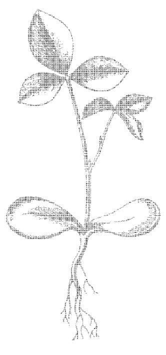
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 64

К. Д. ОСИПОВ

ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР

Рекомендовано Управлением технической подготовки Центрального комитета Всесоюзного Совета добровольного общества содействия армии в качестве пособия для радиоклубов





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

В брошюре кратко излагаются принципы использования электронных ламп для измерений напряжений переменного и постоянного тока.

Рассматриваются схемы ламповых вольтметров и даются практические указания и советы об измерениях. Приводятся сведения о ламповых ампервитках, омметрах, универсальном ламповом приборе.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор С. С. Вайнштейн Техн. редактор Г. Е. Ларионов

Сдано в произв. 31/III 1950 г. Подписано к печати 23/VI 1950 г.
Бумага $82/108^{1}/_{32}$ = $^{7}/_{8}$ бумажных — 2,87 п. л. уч.-изд. л. 3,5
Т-04357 Тираж 25 000. Зак. 106

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

В технике радиоизмерений широкое применение имеют электронные лампы. Особо важное значение имеют приборы, использующие различные свойства электронных ламп, в технике низко- и высокочастотных измерений. К числу измерительных приборов, в которых используются электронные лампы, относятся ламповые (катодные) вольтметры, ваттметры, омметры, измерители частоты, измерители скорости и времени и ряд других приборов. Среди этих приборов одним из наиболее полезных и распространенных является ламповый вольтметр. Основными преимуществами лампового вольтметра в сравнении с другими системами являются малое потребление тока от измеряемого источника напряжений, высокая чувствительность и высокое входное сопротивление. Ламповые вольтметры благодаря этим качествам приобрели особую ценность при измерении напряжений очень маломощных источников или в цепях, где отбор даже малого тока привел бы к значительному изменению напряжений или изменению режима работы схемы, как, например, при измерении напряжений в различных цепях радиоприемников.

При высокочастотных измерениях ламповый вольтметр является практически незаменимым прибором, так как в дополнение к его качествам, перечисленным выше, он обладает сравнительно небольшой входной емкостью.

Существующие в настоящее время схемы ламповых вольтметров позволяют измерять напряжения от десятков и сотен микровольт до десятков киловольт, практически без потребления тока от источника измеряемого напряжения. Частотный диапазон ламповых вольтметров также очень широк и распространяется от очень низких частот, порядка десятков герц, до очень высоких — порядка сотен мегагерц.

В настоящей брошюре мы познакомим читателя с принципами использования электронных ламп для измерения переменных и постоянных напряжений, практическими схемами ламповых вольтметров, их конструированием и применением.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛАМПОВОГО ВОЛЬТМЕТРА

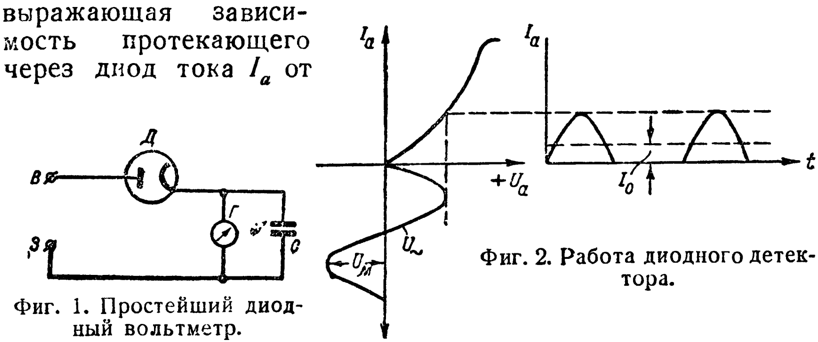
Применение электронных ламп для измерения переменных напряжений основано на использовании детекторных (выпрямительных) свойств ламп.

Простейший ламповый вольтметр состоит из двух основных частей: электронной лампы, работающей в режиме детектирования, и индикатора тока — магнитоэлектрического гальванометра. Вообще говоря, в ламповом вольтметре может быть использован любой вид детектирования, однако наиболее часто используются диодное и анодное детектирование. Способ детектирования является одним из признаков для классификации вольтметров. Знакомство с ламповыми вольтметрами мы начнем с вольтметром, в которых используется диодное детектирование.

ДИОДНЫЙ ВОЛЬТМЕТР

Простейшая схема диодного вольтметра изображена на фиг. 1. Схема состоит из диода *Д* и магнитоэлектрического гальванометра *Г*, зашунтированного конденсатором *С*.

На фиг. 2 в левой верхней части показана статическая или вольтамперная характеристика диода *Д*, т. е. кривая, выражающая зависимость протекающего через диод тока I_a от



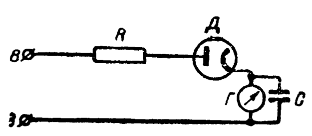
Фиг. 1. Простейший диодный вольтметр.

Фиг. 2. Работа диодного детектора.

напряжения U_a, приложенного к его аноду. Практически статическая характеристика диода несколько отличается от изображенной на фиг. 2 тем, что даже при анодном напряжении, равном нулю, через диод идет ток. Однако, для простоты мы будем считать, что ток через диод протекает только при наличии положительного напряжения на аноде. Подведем к зажимам *ВЗ* переменное напряжение, которое желательно измерить. Это переменное напряжение изображено синусоидой $U_\sim$ в левой нижней части фиг. 2. В моменты, когда к аноду

диода *Д* будут приложены положительные полупериоды напряжения $U_{\sim}$, через диод будет протекать пульсирующий ток, форма которого изображена в правой верхней части фиг. 2. Переменная составляющая этого тока будет проходить через конденсатор *C*, постоянная же составляющая, равная I_0, пойдет через гальванометр *Г* и отклонит его стрелку. Конденсатор *C* выбирается с таким расчетом, чтобы его сопротивление переменной составляющей анодного тока во всем диапазоне частот измеряемых напряжений было во много раз меньше сопротивления гальванометра *Г*. Обычно емкость конденсатора *C* выбирается равной 5—10 *мкф*. Величина постоянной составляющей выпрямленного тока, проходящей через гальванометр, будет зависеть от величины переменного напряжения, приложенного к зажимам *ВЗ*. Благодаря этому шкала гальванометра *Г* может быть проградуирована в значениях напряжения, подводимого к зажимам *ВЗ*.

Недостатками этой схемы являются неравномерность шкалы, узкий диапазон измеряемого напряжения и малое входное сопротивление.



Фиг. 3. Диодный вольтметр с последовательно включенным сопротивлением.

На фиг. 3 приведена вторая схема лампового вольтметра, отличающаяся от первой наличием сопротивления, включенного последовательно с диодом *Д*. Благодаря сопротивлению *R* вольтамперная характеристика диода становится более пологой и вместе с тем прямолинейной.

Если считать, что сопротивление диода *Д* при положительном полупериоде напряжения на аноде равно нулю и при отсутствии напряжения анодный ток в диоде не протекает, то среднее значение анодного тока за положительный полупериод напряжения будет равно среднему значению напряжения за положительный полупериод, деленному на сопротивление *R*. Для синусоидальной формы напряжения среднее значение тока равно

$$I_{0ср} = \frac{U_m}{3{,}14R} = \frac{U_{эфф}}{2{,}22R},$$

где U_m — амплитуда напряжения

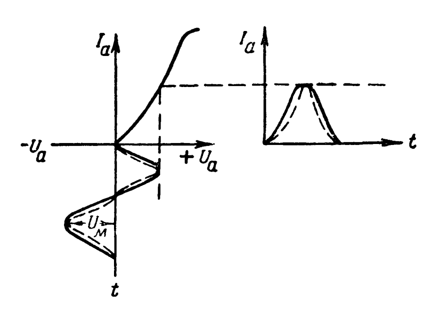
$U_{эфф}$ — эффективное значение напряжения.

Подводя к вольтметру постоянное напряжение, мы получим анодный ток, равный

$$I_a = \frac{U}{R}.$$

Отсюда видно, что наш вольтметр может быть использован для измерений как переменного, так и постоянного напряжений.

Если бы диод на самом деле обладал нулевым сопротивлением, то вольтметр можно было бы проградуировать при постоянном напряжении и использовать для измерений как постоянного напряжения, так и напряжения синусоидальной формы. В действительности криволинейность вольтамперной характеристики диода, а также наличие анодного тока, при отсутствии анодного напряжения приводят к тому, что при малых значениях напряжений отношение показаний при постоянном и переменном токе несколько отличается от величины 2,22. Отклонение это становится тем меньше, чем выше измеряемое напряжение и чем выше значение сопротивления R, спрямляющего характеристику диода.



Фиг. 4. Влияние формы кривой переменного напряжения на анодный ток диода.

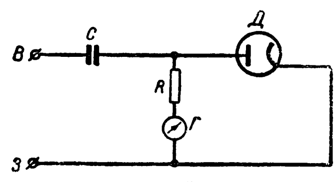
Вольтметр, собранный по такой схеме, позволяет измерять напряжения от 0,5—1,0 *в* и выше. Погрешность измерений уменьшается с увеличением измеряемого напряжения.

Сопротивление R должно быть безиндукционным и безъемкостным. Приблизительно величина сопротивления R, которое следует включать для измерения напряжения $U_{эфф}$, максимального для данной шкалы вольтметра, определяется из следующего соотношения: $R = \frac{U_{эфф.\,макс}}{2{,}22\,I}$, где I—максимальный ток, который можно пропустить через гальванометр $Г$ и $U_{эфф}$—максимальное напряжение, которое должно быть измерено при полном отклонении гальванометра $Г$.

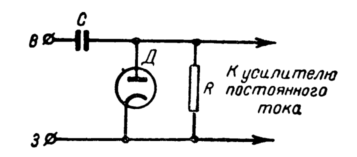
Следует отметить, что вольтметр, собранный по схеме фиг. 3 и градуированный при синусоидальном напряжении, будет давать неправильные показания, если форма кривой напряжения будет отличаться от синусоиды, так как среднее значение входного напряжения в свою очередь зависит от формы кривой напряжения. Это можно видеть из фиг. 4. Здесь сплошной линией представлено синусоидальное напряжение и получающийся при этом анодный ток, пунктирной же линией представлено несинусоидальное напряжение и вызванный им анод-

ный ток. Схемы вольтметров, которые мы разобрали, не могут быть использованы для измерений в цепях, в которых, кроме переменной, протекает и постоянная составляющая тока. Так, например, если мы попытаемся такими вольтметрами измерить напряжение звуковой частоты на аноде выходной лампы приемника, то получим неправильные результаты, так как на вольтметр, кроме напряжения звуковой частоты, будет действовать и постоянное анодное напряжение.

Для устранения этого недостатка используется схема вольтметра с разделительным конденсатором и параллельным включением диода с цепью, содержащей сопротивление *R*, и магнитоэлектрический гальванометр *Г*, как показано на фиг. 5. В этой схеме сопротивление *R* выбирается с таким расчетом, чтобы величина внутреннего сопротивления диода была бы в



Фиг. 5. Диодный вольтметр с разделительным конденсатором на входе.



Фиг. 6. Диодный детектор амплитудного вольтметра.

сравнении с ним незначительна. Вольтметры, имеющие на входе разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую, называются в о л ь т м е т р а м и с з а к р ы т ы м в х о д о м, в отличие от схемы фиг. 1 и 3, называемых в о л ь т м е т р а м и с о т к р ы т ы м в х о д о м.

Наличие разделительного конденсатора *С* приводит к зависимости показаний вольтметра от частоты измеряемого напряжения. Для уменьшения этой зависимости необходимо увеличивать емкость конденсатора *С*. Емкость этого конденсатора обычно берется равной нескольким тысячам и даже десяткам тысяч *мкмкф*.

Вольтметры, работающие по такой схеме и градуированные при синусоидальном напряжении, дают правильные показания только при измерении синусоидальных напряжений. Ошибки получаются тем больше, чем больше форма кривой измеряемого напряжения отличается от синусоиды.

Одной из часто применяющихся схем ламповых вольтметров, является схема, изображенная на фиг. 6.

В этой схеме используется способ детектирования, при котором для отклонения стрелки магнитоэлектрического гальва-

нометра, используется заряд конденсатора через диод измеряемым напряжением и последующий разряд конденсатора через сопротивление большой величины, шунтирующее диод.

При положительном полупериоде конденсатор C заряжается через диод, сопротивление которого мало, в сравнении с сопротивлением R; при отрицательном полупериоде, когда сопротивление диода является бесконечно большим, конденсатор C разряжается через сопротивление R. Так как сопротивление R взято очень большим, то за время отрицательного полупериода конденсатор C не успевает разрядиться, и на сопротивлении R создается падение напряжения, пропорциональное амплитуде измеряемого напряжения, подаваемого на вход. Падение напряжения на сопротивлении R используется в дальнейшем для управления усилителем постоянного тока.

При положительном полупериоде конденсатор C успевает зарядиться до амплитудного значения измеряемого напряжения. Благодаря этому ламповый вольтметр по такой схеме будет измерять амплитудное значение измеряемого напряжения. Для пересчета амплитудного значения в эффективное пользуются формулой

$$U_{эфф} = U_m \cdot 0{,}707,$$

где $U_{эфф}$ — эффективное значение измеряемого напряжения
U_m — амплитудное его значение.

Емкость конденсатора C в этой схеме берется порядка 0,02—0,025 *мкф*. Сопротивление R, как правило, равно 50 *мгом*.

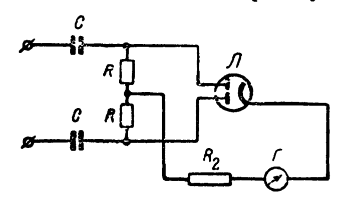
Мы рассмотрели некоторые, наиболее часто встречающиеся схемы ламповых вольтметров с применением двухэлектродных ламп и познакомились с принципом их работы.

В дополнение к рассмотренным схемам остановимся еще на двухтактных детекторных схемах, нередко применяющихся в ламповых вольтметрах.

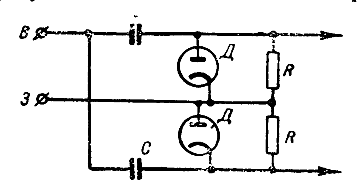
На фиг. 7 представлена схема двухтактного вольтметра, собранного по схеме двухполупериодного выпрямления, на двойном диоде. Средняя точка, необходимая при двухполупериодном выпрямлении, получается за счет последовательного включения двух одинаковых сопротивлений R. К общей точке этих сопротивлений и присоединен отрицательный провод двухполупериодного выпрямителя. Выбором величины этих сопротивлений определяется входное сопротивление вольтметра. Конденсаторы C — разделительные.

Выпрямленное двойным диодом напряжение подается на гальванометр $Г$, включенный последовательно с сопротивлением, определяющим пределы измерений вольтметра. Измене-

нием сопротивления R_2 можно выбрать нужные пределы измерений. Благодаря двухполупериодному выпрямлению достигается уменьшение погрешности при измерении напряжения, имеющего несимметричную форму волны, а также при



Фиг. 7. Двухтактный диодный вольтметр с одной лампой.

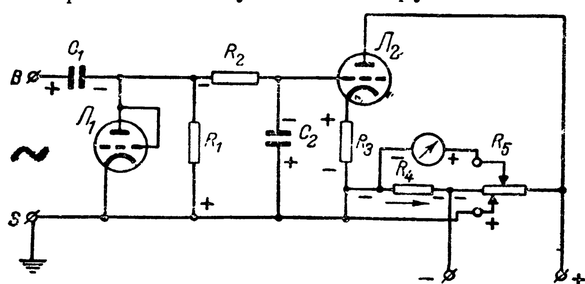


Фиг. 8. Двухтактный амплитудный вольтметр.

измерении суммарного напряжения, имеющего ряд разнородных составляющих.

На фиг. 8 представлена схема двухтактного лампового вольтметра, являющаяся развитием схемы фиг. 6. После такого детекторного устройства включается усилитель постоянного тока, собранный также по двухтактной схеме.

Кроме вольтметров, по схемам фиг. 6 и 8 усилители постоянного тока широко используются и в других схемах для рас-



Фиг. 9. Принцип работы вольтметра с усилителем постоянного тока.

ширения пределов измерений в сторону малых величин напряжения.

Для уяснения принципа работы усилителя постоянного тока обратимся к фиг. 9, где приведена схема диодного вольтметра с усилителем постоянного тока.

Как видно из схемы фиг. 9, диодная часть вольтметра аналогична вольтметру, схема которого представлена на фиг. 6 и работу которого мы разбирали ранее.

Если мы подведем измеряемое переменное напряжение к зажимам *В* и *Э*, то во время положительного полупериода на

зажиме B, конденсатор C_1 будет заряжаться через диод $Л_1$ до тех пор, пока напряжение на нем не будет равно амплитудному (пиковому) значению, подведенного переменного напряжения.

По окончании заряда конденсатора C_1 лампа $Л_1$ станет непроводящей, и в тот момент, когда подводимое напряжение начнет уменьшаться, конденсатор C_1 начнет разряжаться через сопротивление R_1.

Сопротивление R_1, равное 50 *мгом*, выбрано с таким расчетом, чтобы обеспечить среднее значение напряжения на конденсаторе, близкое к пиковому значению измеряемого напряжения. Среднее значение напряжения на сопротивлении R_1 равно среднему значению напряжения на конденсаторе C_1.

Сопротивление R_2 и конденсатор C_2 образуют фильтр и отделяют переменную составляющую напряжения, получающуюся на сопротивлении R_1, благодаря чему к сетке усилительной лампы $Л_2$ подводится только постоянная составляющая этого напряжения, почти равная пиковому значению приложенного напряжения.

Постоянное напряжение, подаваемое на сетку усилительной лампы $Л_2$ с сопротивления R_1, имеет отрицательный знак, и следовательно, увеличение напряжения на сопротивлении R_1 будет вызывать увеличение отрицательного смещения на сетку усилительной лампы и уменьшение ее анодного тока. Таким образом, повышение величины приложенного к входу вольтметра переменного напряжения уменьшает анодный ток усилительной лампы.

Так как анодный ток усилительной лампы может уменьшаться только до нуля, то сеточная цепь оказывается способной без вреда для гальванометра $Г$ выдерживать длительные перенапряжения. На вход вольтметра можно подавать до 300 *в*.

В цепи катода усилительной лампы $Л_2$ включены сопротивления R_3 и R_4, падение напряжения на которых за счет анодного тока лампы задает отрицательное смещение на сетку. В момент увеличения постоянной составляющей напряжения на сопротивлении R_2 анодный ток усилительной лампы, как мы установили ранее, уменьшается. Падение напряжения на сопротивлениях R_3 и R_4, вызванное этим током, также уменьшается и, следовательно, уменьшается отрицательное смещение, задаваемое на сетку сопротивлениями R_3 и R_4.

Таким образом, изменение постоянной составляющей напряжения на сопротивлении R_1 вызывает противоположное изменение напряжения на сопротивлениях R_3 и R_4 и изменение

напряжения на сетке будет равно разности между изменением напряжения на сопротивлении R_1 и изменением напряжения на сопротивлениях R_3 и R_4.

Увеличение сопротивления R_3 уменьшает чувствительность вольтметра и улучшает линейность шкалы. Это обстоятельство используется, как мы увидим ниже, для регулировки чувствительности вольтметра.

Гальванометр $Г$ включен минусом к точке соединения сопротивлений R_3 и R_4 и плюсом к ползунку переменного сопротивления R_5. Падение напряжения на сопротивлении R_4 от начального анодного тока лампы компенсируется равным и противоположным по знаку напряжением, снимаемым с части переменного сопротивления R_5, включенного между плюсом и минусом источника питания. Если подобрать положение ползунка сопротивления R_5 так, чтобы снимаемое напряжение стало равным падению напряжения на сопротивлении R_4, то ток через гальванометр будет отсутствовать и стрелка установится на нуль.

Если подать на вход вольтметра измеряемое напряжение, то анодный ток лампы $Л_2$ будет уменьшаться (так как будет увеличиваться напряжение смещения, снимаемое с сопротивления R_1). Падение напряжения на сопротивлении R_4 будет также уменьшаться, в результате чего компенсация будет нарушена, что вызовет положительное отклонение стрелки гальванометра. Ток, проходящий через гальванометр, будет пропорционален напряжению на входе вольтметра.

Сопротивление R_5 используется также для подбора правильного режима работы лампы $Л_2$. Это достигается тем, что часть напряжения, снимаемая нижним ползунком с сопротивления R_5, подается на сетку лампы $Л_2$ как положительное смещение. Таким образом, постоянное смещение сетки лампы $Л_2$ состоит из отрицательного смещения, получаемого за счет падения напряжения на сопротивлениях R_3 и R_4, и положительного смещения, снимаемого с части сопротивления R_5. Положительное смещение на сетку $Л_2$ подается для того, чтобы устранить отсечку тока (запирание) в лампе $Л_2$ за счет отрицательного смещения. Подбор положительного смещения в процессе наладки вольтметра позволяет установить лампу $Л_2$ в режим работы, одинаковый для всех шкал.

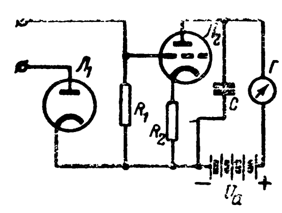
На фиг. 10 и 11 изображены еще две схемы ламповых вольтметров, дополненных усилителем постоянного тока.

Обратимся к фиг. 10. Здесь для управления режимом усилителя постоянного тока используется падение напряжения на сопротивлении R_1, образующееся при прохождении тока через

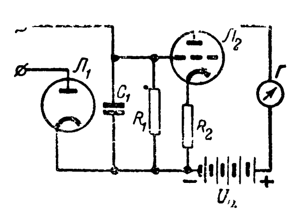
диод при положительном полупериоде измеряемого напряжения. Среднее значение анодного тока усилительной лампы зависит от среднего значения падения напряжения на сопротивлении R_1, которое в свою очередь определяется средним значением измеряемого напряжения за положительный полупериод.

Если сопротивление R_1 заменить конденсатором, зашунтированным высокоомным сопротивлением, то мы получим схему, изображенную на фиг. 11.

Как видно из фиг. 9, 10 и 11, наличие сопротивления в цепи катода усилительной лампы вызывает появление отрица-



Фиг. 10. Диодный вольтметр с усилителем постоянного тока.



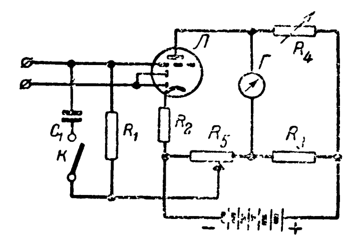
Фиг. 11. Вариант диодного вольтметра с усилителем постоянного тока.

тельной обратной связи. Отрицательная обратная связь, если сопротивление в катоде достаточно велико, дает показания гальванометра, включенного в анодную цепь, практически пропорциональными постоянной составляющей сеточного напряжения и тем самым пропорциональными положительному амплитудному значению измеряемого напряжения. Кроме того, наличие сопротивления в цепи катода ведет к уменьшению сеточного смещения с уменьшением анодного тока. Поэтому постоянное напряжение, подаваемое на сетку усилительной лампы, за счет измеряемого переменного напряжения может значительно превышать напряжение, при котором лампа оказалась бы запертой при отсутствии сопротивления в цепи катода. Этим достигается расширение предела измерений в сторону больших значений напряжения. Изменением сопротивления в цепи катода и некоторым дополнительным смещением можно менять предел измерений вольтметра и обеспечить многошкальность.

В схемах фиг. 10 и 11 обычно для компенсации начального тока используется мостовая схема, подобная мостовой схеме фиг. 9, работу которой мы разобрали.

На фиг. 12 приведена схема, в которой диодная часть и усилитель постоянного тока собраны на одной лампе —

двойном диод-триоде. Здесь сопротивление R_2 служит для выпрямления градуировочной кривой и повышения предела измерений. Падение напряжения на этом сопротивлении компенсируется падением напряжения на левой части потенциометра R_5. Напряжение, снимаемое с потенциометра R_5 на сетку лампы, подбирается таким образом, чтобы подавалось минимальное напряжение смещения, достаточное для прекращения анодного тока, при закороченных входных зажимах вольтметра. Вольтметр при разомкнутом ключе K измеряет среднее значение напряжения за положительный полупериод. При замкнутом ключе K вольтметр дает показания, близкие к амплитудному значению измеряемого напряжения.



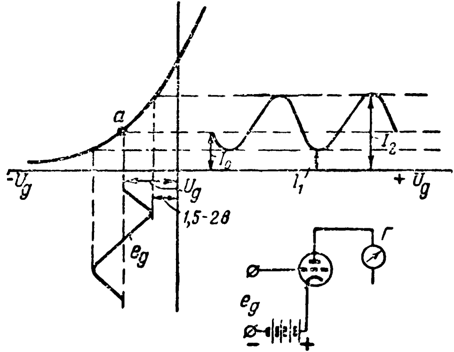
Фиг. 12. Диодный вольтметр с усилителем постоянного тока на одной лампе.

ВОЛЬТМЕТРЫ С ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ ЛАМПОЙ

Применение трехэлектродных ламп для измерения напряжения основано на использовании в качестве градуировочной кривой характеристики зависимости анодного тока от напряжения на сетке.

В вольтметрах с трехэлектродными лампами могут быть применены как анодное детектирование, так и сеточное. Однако наибольшее применение нашли схемы с анодным детектированием.

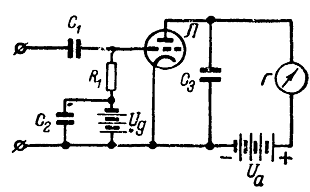
Работа лампы при анодном детектировании представлена графически на фиг. 13. Здесь в левой верхней части представлена характеристика зависимости анодного тока лампы от величины напряжения на сетке. Если начальную рабочую точку выбрать на изгибе характеристики (точка a), то при отрицательной амплитуде переменного напряжения, прилагаемого к зажимам сетка — нить



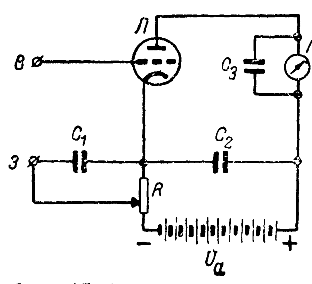
Фиг. 13. Анодное детектирование на квадратичном участке характеристики.

лампы, анодный ток уменьшается до значения I_1, а при положительной амплитуде напряжения возрастает до значения I_2. Выбор рабочей точки производится путем подачи на сетку лампы начального постоянного смещения U_g

Таким образом, при чередовании положительных и отрицательных полупериодов переменного напряжения на сетке увеличение анодного тока преобладает над его уменьшением, вследствие чего среднее значение анодного тока возрастает в сравнении с его начальным значением I_0. По изменению среднего значения анодного тока можно судить о величине амплитуды напряжения, приложенного к сетке лампы.



Фиг. 14. Квадратичный вольтметр с анодным детектированием.



Фиг. 15. Вольтметр с анодным детектором с автоматическим смещением.

Для того, чтобы приращение анодного тока было наибольшим, ламповый вольтметр должен работать вблизи нижней точки изгиба характеристики анодного тока, что достигается выбором смещающего напряжения U_g. Если при этом анодное напряжение U_a выбрано так, что при подаче переменного напряжения на сетку, сеточный ток будет отсутствовать, то вольтметр будет иметь очень высокое входное сопротивление. Смещение выбирается так, чтобы оно превышало максимальную амплитуду измеряемых напряжений на 1,5—2 *в*, как показано на фиг. 13.

На фиг. 14 представлена схема лампового вольтметра с анодным детектированием. Такой вольтметр называется квадратичным, так как при детектировании используется только тот участок характеристики, который подчиняется квадратичному закону, т. е. когда приращение анодного тока пропорционально квадрату приращения переменного напряжения, приложенного к сетке. Градуировка такого вольтметра, произведенная при синусоидальном напряжении, справедлива и для напряжения с другой формой кривой.

Емкость конденсатора C_1 выбирается с таким расчетом, чтобы сопротивление его при самой низкой частоте измеряемого напряжения было во много раз меньше сопротивления R_1. В этом случае напряжение, подводимое к входу

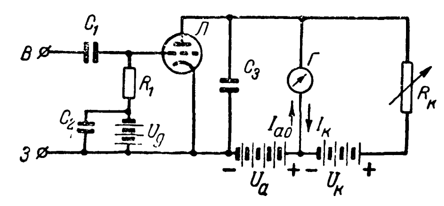
вольтметра, практически полностью будет падать на сопротивлении R_1 и подводится к сетке лампы.

Емкости C_2 и C_3 являются блокировочными и выбираются с таким расчетом, чтобы их сопротивления были очень малы при самой низкой из измеряемых частот. Практически эти конденсаторы берутся емкостью в несколько *мкф*.

Подбор рабочей точки на нижнем сгибе характеристики лампы при выбранном анодном напряжении осуществляется изменением напряжения батареи сеточного смещения.

На фиг. 15 изображена еще одна схема с трехэлектродной лампой, работающей в режиме анодного детектирования.

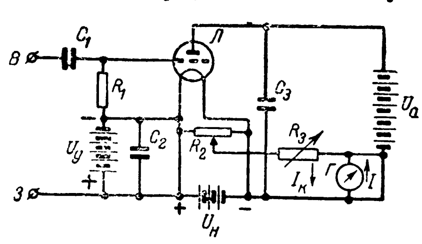
Подбор рабочей точки на нижнем изгибе характеристики триода производится изменением сопротивления R, на котором за счет анодного тока лампы создается падение напряжения. Емкости C_1, C_2 и C_3 выбираются так же, как и для схемы фиг. 14.



Фиг. 16. Схема компенсации начального анодного тока.

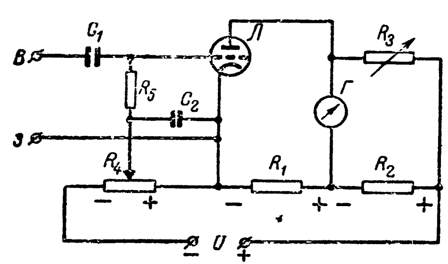
Недостатком приведенных схем является ограниченное использование шкалы гальванометра вследствие наличия начального тока, протекающего через гальванометр при отсутствии измеряемого напряжения на входе. Для устранения этого недостатка применяется метод компенсации начального тока в цепи гальванометра. Этот метод заключается в том, что через гальванометр пропускается ток, равный по величине начальному анодному току, но противоположно ему направленный. Один из способов компенсации начального анодного тока показан на фиг. 16. Здесь компенсация осуществлена с помощью анодной батареи, от части которой берется компенсирующее напряжение $U_к$. Через гальванометр при отсутствии напряжения на входе вольтметра протекает начальный анодный ток I_{a0} и ток $I_к$, получаемый от части $U_к$ анодной батареи. Ток $I_к$ направлен навстречу току I_{a0}, как показано стрелками. Подбором величины $R_к$ можно добиться, что ток $I_к$ станет равным току I_{a0}, и тогда стрелка гальванометра встанет на нуль. Если подать на вход вольтметра переменное напряжение, то через гальванометр будет протекать ток, равный приращению анодного тока, полученному за счет измеряемого переменного напряжения. Для измерения

этого тока, который при малых измеряемых напряжениях может быть значительно меньше начального анодного тока, мы можем воспользоваться теперь более чувствительным гальванометром. Благодаря этому мы можем повысить чувствительность вольтметра. Следует отметить, что сопротивление $R_к$ должно быть значительно больше сопротивления гальванометра, иначе оно будет шунтировать гальванометр.

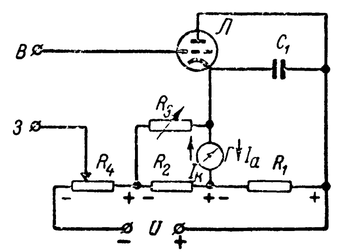


Фиг. 17. Компенсация анодного тока от батарей накала.

В случае питания накала лампы от отдельной батареи, для компенсации начального анодного тока, может быть применена схема, изображенная на фиг. 17. В этой схеме для получения компенсирующего тока накальная батарея нагружается на потенциометр R_2, с которого через регулирующее сопро-



Фиг. 18. Схема вольтметра с использованием одного источника питания для анода, сеточного смещения и компенсации.



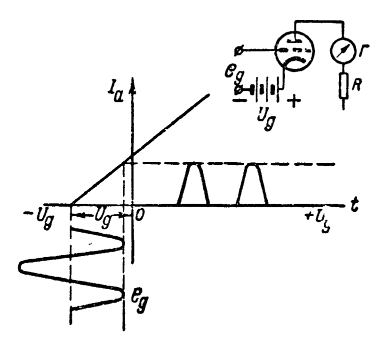
Фиг. 19. Второй вариант схемы вольтметра с использованием одного источника питания для анода, сеточного смещения и компенсации.

тивление R_3 подается плюс на гальванометр, а минус батареи присоединен непосредственно ко второму выводу гальванометра. Для установки гальванометра на нуль потенциометром R_2 и сопротивлением R_3 добиваются того, чтобы компенсирующий ток $I_к$ через гальванометр был равен начальному анодному току I_{a0}. На фиг. 18 и 19 изображены схемы ламповых вольтметров с анодным детектированием, в которых для получения анодного напряжения, сеточного смещения и компенсирующего напряжения используется один источник напряжения.

В этих схемах источник питания нагружается на потенциометр, состоящий из сопротивлений R_1, R_2 и потенциометра R_4.

Падение напряжения на потенциометре R_4 используется для подачи сеточного смещения. Падение напряжения на сопротивлении R_1 используется для получения анодного напряжения, напряжение для компенсации начального тока снимается с сопротивления R_2 и регулируется переменным сопротивлением R_3. Установка гальванометра на нуль осуществляется подбором тока $I_к$ с помощью сопротивлений R_2 и R_3.

Если рабочую точку характеристики трехэлектродной лампы, работающей в режиме анодного детектирования, выбрать у начала характеристики, а в анодную цепь включить большое безиндукционное и беземкостное сопротивление, то характеристика триода будет практически прямолинейна, как показано на фиг 20.



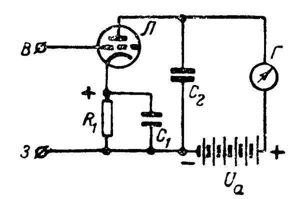
Фиг. 20. Характеристика детектирования на линейном участке характеристики.

Если на сетку подать переменное напряжение e_g, то в анодной цепи будет протекать ток только при положительных полупериодах, при отрицательных полупериодах анодный ток будет отсутствовать. В положительные же полупериоды импульс анодного тока будет представлять точную копию положительного полупериода напряжения на сетке. При синусоидальном напряжении этот импульс будет представлять собой половину синусоиды. Показание гальванометра, включенного в анодную цепь, в этом случае будет пропорционально среднему значению синусоидального напряжения за полупериод, а градуировка вольтметра будет линейной. При чисто синусоидальном напряжении такой вольтметр может быть проградуирован в эффективных значениях напряжения. При другой форме переменного напряжения показания вольтметра будут неправильными.

Для получения хорошей прямолинейности характеристики сопротивление R, включенное в анодную цепь, должно быть во много раз больше внутреннего сопротивления триода. Это в свою очередь требует большого анодного напряжения для получения анодного тока, способного дать достаточное отклонение стрелки гальванометра. Для того чтобы не повышать чрезмерно анодное напряжение, в вольтметрах применяются лампы с большей крутизной малым коэффициентом усиления и малым внутренним сопротивлением.

Для того чтобы входное сопротивление линейного триодного вольтметра было достаточно высоким, максимальная амплитуда измеряемого напряжения должна быть на 1,5—2 *в* меньше напряжения смещения на сетке лампы.

Градуировочная кривая вольтметра может быть выпрямлена, помимо рассмотренной нами схемы, также применением автоматического смещения, как показано на фиг. 21 и 22. В этих схемах отрицательное напряжение смещения на сетке лампы получается за счет падения напряжения на сопротивлении R_1 при прохождении через него анодного тока. При этом катод лампы оказывается под более высоким потенциалом, чем точка, к которой присоединяется сетка лампы.



Фиг. 21. Получение автоматического смещения в вольтметре с анодным детектированием.

Фиг. 22. Получение автоматического смещения в вольтметре с закрытым входом и анодным детектированием.

При увеличении подаваемого на вход вольтметра измеряемого переменного напряжения возрастает анодный ток, который вызывает увеличение падения напряжения на сопротивлении R_1. В результате этого отрицательное смещение на сетке, автоматически растет и рабочая точка на характеристике перемещается в левую часть. Это позволяет, помимо спрямления характеристики расширить пределы измеряемого напряжения, так как смещение, вызванное увеличением измеряемого напряжения, увеличивается и значительно превосходит смещение при отсутствии напряжения на входе. Величина сопротивления R_1 выбирается с таким расчетом, чтобы начальный анодный ток был возможно малым. Компенсация начального анодного тока может быть произведена одним из способов, которые мы рассматривали. Емкость конденсатора C_1 выбирается так, чтобы для переменной составляющей анодного тока сопротивление конденсатора было мало по сравнению с R_1. Конденсатор C_3 и сопротивление R_2 схемы фиг. 22 представляют собой элементы развязки и необходимы в случае измерений в цепях, где кроме измеряемой переменной составляющей имеется и постоянная составляющая. C_2 — блокировочный конденсатор анодной цепи.

Входное сопротивление такого вольтметра очень велико, так как измерение напряжения производится при отсутствии сеточного тока.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРАХ

Мы познакомились с принципом работы некоторых типовых схем ламповых вольтметров с двух- и трехэлектродными лампами. Разберем теперь некоторые общие вопросы, относящиеся к вольтметрам.

Зависимость показаний вольтметра от формы измеряемого напряжения. При разборе отдельных детекторных схем мы установили, что в зависимости от способа детектирования ламповый вольтметр может измерять амплитудное, эффективное или среднее значение измеряемого переменного напряжения. Независимо от этого все вольтметры градуируются в эффективных значениях измеряемого напряжения синусоидальной формы. При измерении не синусоидальных переменных напряжений следует помнить, что вольтметры могут давать погрешности и иногда довольно значительные. Так, например, если синусоида искажена на 8—10% (т. е. содержит гармоники), а вольтметр, которым производится измерение, не имеет строго квадратичной характеристики, то с ошибками измерений необходимо уже считаться.

Погрешность измерений. Ламповые вольтметры имеют погрешность измерений в лучшем случае 2—3%, обычно же общая погрешность составляет 5—7%, если учесть погрешность гальванометра, погрешности, получающиеся при градуировке, при изменении параметров ламп, за счет зависимости показаний от изменения напряжения источников питания, за счет зависимости показаний от частоты измеряемого напряжения, за счет зависимости показаний от внешних температурных и атмосферных условий и т. д.

Погрешности за счет градуировки вольтметра образуются из неточности нанесения отметки на шкале гальванометра и погрешности контрольного вольтметра, по которому производится градуировка. Для уменьшения последней следует применять контрольный прибор с малой погрешностью. Обычно при градуировке применяются контрольные приборы класса 0,5 и 1. Отметки на шкале гальванометра необходимо наносить особо тщательно и проверять их в процессе градуировки несколько раз. Параметры электронных ламп при постоянстве режима работы имеют достаточно высокую стабильность. Погрешность за счет изменения параметров может произойти только в результате длительной эксплоатации вольтметра,

когда лампы работают уже на пределе срока службы. При непостоянстве режима работы электронной лампы погрешность измерений может быть уже значительной. Изменение режима работы лампы может произойти из-за изменения параметров деталей и изменения напряжений источников питания. Для уточнения режима работы детекторной лампы в вольтметрах с триодами, когда гальванометр включен в цепь анода этой лампы, применяется проверка по так называемому условному нулю. Сущность проверки заключается в том, что при выборе рабочей точки допускается некоторый анодный ток, на шкале же гальванометра делается специальная отметка, соответствующая этому току. Начальный анодный ток определенной величины и соответствующее ему показание гальванометра, называемое условным нулем, показывают, что при начале измерений лампа поставлена в тот же режим, что и при градуировке вольтметра. Кроме того, начальный анодный ток в электронной лампе необходим для обеспечения детектирования в области наибольшей кривизны характеристики.

Наличие начального анодного тока не дает возможности использовать полностью шкалу гальванометра. Поэтому часто начальный анодный ток, проходящий через гальванометр, компенсируется равным ему по величине, но обратно направленным током от какого-либо источника. В этом случае гальванометр не имеет отметки условного нуля и шкала вольтметра начинается от нормального нулевого положения.

Для обеспечения устойчивости напряжения источников питания, а следовательно, и постоянства режима работы и параметров ламп, ламповые вольтметры снабжаются стабилизаторами в цепях питания.

К таким стабилизаторам относятся барретторы, стабиливольты — неоновые стабилизаторы и феррорезонансные стабилизаторы, позволяющие в значительной степени снизить колебания напряжения источников питания.

Погрешность измерений при различных частотах измеряемого напряжения зависит главным образом от конструктивного оформления и монтажа вольтметра. Для уменьшения частотной зависимости вольтметров необходимо, чтобы падение измеряемого высокочастотного напряжения между входными зажимами вольтметра и электродами ламп было очень мало. Изоляция входной части вольтметра от остальной схемы должна быть очень хорошей, чтобы поднять входное сопротивление и уменьшить потери. На высокой частоте входное сопротивление вольтметра в основном определяется входной емкостью. Поэтому входная емкость должна быть как можно меньше.

Часто для уменьшения входной емкости детекторная лампа помещается в отдельный выносный «щуп» или «пробник». Электроды лампы соединяются с входными зажимами очень короткими проводами, присоединение входа вольтметра к источнику измеряемого напряжения осуществляется без проводов. Для уменьшения погрешности лампового вольтметра, получающейся за счет гальванометра, рекомендуется применять гальванометр с большой шкалой, с большим количеством отсчетных точек. Желательно, чтобы шкала гальванометра была с зеркалом. Собственная погрешность гальванометра не должна быть более 1—1,5%.

Влияния температуры и влаги могут быть значительными, если вольтметр используется для измерений как в помещении, так и на открытом воздухе, когда разность температуры и влажность велики. При использовании вольтметра только в помещении с этими влияниями можно не считаться.

Чувствительность. Простые ламповые вольтметры при применении обычных электронных ламп позволяют измерять напряжения от 0,2 до 0,5 *в*

Для повышения чувствительности вольтметров применяется предварительное и последующее усиление. Применение одной ступени усиления позволяет повысить чувствительность до 0,02—0,03 *в*. Наиболее чувствительные ламповые вольтметры, имеющие 4—5 усилительных ламп, позволяют измерять напряжения от десятков микровольт.

Верхний предел измеряемого напряжения для обычных ламп ограничивается 150—200 *в*. Для расширения пределов измерения в сторону больших напряжений применяются делители напряжения с постоянным коэффициентом деления. Чаще всего делители напряжения делаются емкостными.

Многошкальность. Многошкальность ламповых вольтметров обеспечивается несколькими способами. Чаще всего для этой цели применяются переключения элементов схемы, с помощью которых можно менять чувствительность детектора, гальванометра или усилителя. Часто используются отводы от ступенчатых потенциометров в анодной цепи детектора или в усилительных каскадах. Делители напряжения на входе вольтметра применяются редко и только в вольтметрах, рассчитанных на сравнительно низкие чистоты. Очень редко применяется включение отдельных каскадов усиления, для получения того или иного предела измерений.

В вольтметрах, имеющих после детектора усилитель постоянного тока, многошкальность достигается изменением величины сопротивления, включенного в цепь катода усилитель-

ной лампы. Одновременно с этим изменяется начальное отрицательное смещение на сетке усилительной лампы с помощью ступенчатого потенциометра.

Входное сопротивление. Входное сопротивление лампового вольтметра определяет качество и область применения прибора. Наибольшим входным сопротивлением обладают вольтметры с трехэлектродной лампой, работающей в режиме анодного детектирования и без конденсатора в цепи сетки. Входное сопротивление таких вольтметров достигает нескольких мегом, а входная емкость может быть доведена до нескольких микромикрофарад.

Диодные вольтметры обладают значительно меньшим входным сопротивлением. В среднем входное сопротивление диодных вольтметров бывает порядка нескольких десятков тысяч ом. Амплитудный диодный вольтметр, собранный по схеме фиг. 6, обладает входным сопротивлением порядка 0,4—0,5 *мгом.* Входная емкость такого вольтметра составляет 5—10 *мкмкф.*

Источники питания. В качестве источников питания для ламповых вольтметров могут быть использованы аккумуляторы, сухие батареи и сеть переменного тока.

Питание вольтметров от аккумуляторов и сухих батарей обеспечивает более высокую стабильность их работы, при обеспечении контроля за напряжением аккумулятора и батарей. Однако громоздкость их и необходимость частой замены делает эти источники питания очень неудобными.

В большинстве случаев в качестве источника питания используется сеть переменного тока. В схеме вольтметра предусматривается выпрямитель. Для обеспечения стабильности напряжения применяются стабилизаторы.

В тех случаях, когда вольтметр используется в местах, где нет сети переменного тока, наиболее удобным является диодный вольтметр, требующий только один источник питания. При применении в таком вольтметре экономических ламп он может питаться от батареи для карманного фонаря.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОШКАЛЬНОСТИ И РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

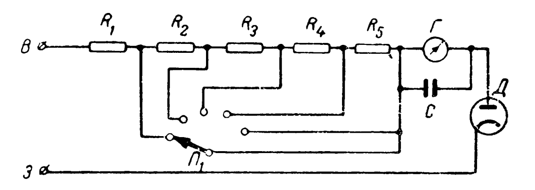
Схемы ламповых вольтметров, рассмотренные нами, могут применяться без усложнений, только как одношкальные вольтметры. Одношкальные ламповые вольтметры обладают либо очень узким диапазоном измеряемых напряжений, либо, если диапазон достаточно широк, очень сжатой шкалой, что ведет к трудности отсчета малых напряжений и к большим погреш-

ностям измерений. Для уменьшения погрешности отсчета весь диапазон напряжений, измеряемых вольтметром, разбивают на отдельные поддиапазоны. Верхний предел каждого поддиапазона соответствует наибольшему отклонению стрелки гальванометра по шкале. Так, например, если вольтметр должен измерять напряжения от 0,5 до 100 *в*, то целесообразно иметь несколько шкал, например, 0,5—5 *в*, 0—15 *в*, 0—50 *в* и 0—100 *в*. Напряжения 5 *в*, 15 *в*, 50 *в* и 100 *в* соответствуют полному отклонению стрелки гальванометра. Разберем несколько способов обеспечения многошкальности ламповых вольтметров.

При рассмотрении схемы диодного вольтметра, которая изображена на фиг. 3, мы уже установили, что, изменяя сопротивление R, можно изменять пределы измерений. Если считать, что внутреннее сопротивление диода и сопротивление рамки гальванометра малы, то для каждого предела измерений сопротивление R может быть подсчитано по формуле

$$R = \frac{U_{эф.\ макс}}{2{,}22\, I}.$$

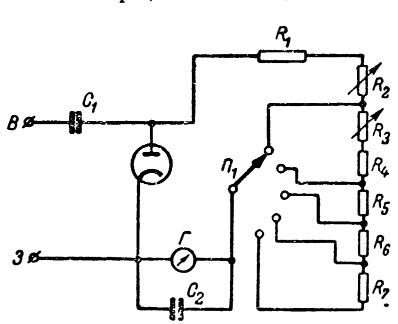
Подсчитав для каждого предела измерений сопротивление R, мы можем теперь собрать многошкальный вольтметр, схема которого изображена на фиг. 23. Здесь сопротивления R_1, R_2,



Фиг. 23. Многошкальный диодный вольтметр с простым входом.

R_3, R_4 и R_5 служат для изменения пределов измерений. Переключение пределов измерений производится переключателем $П_1$. В первом положении переключателя $П_1$ в схему включено только одно сопротивление R_1, величина которого рассчитана на наименьший предел измерений. Все остальные сопротивления закорочены. Во втором положении переключателя к сопротивлению R_1 последовательно добавляется сопротивление R_2, которое рассчитывается таким образом, чтобы вместе с сопротивлением R_1 оно обеспечивало второй желаемый предел измерений. Сопротивления R_3, R_4 и R_5 выбираются такой величины, чтобы с предыдущими сопротивлениями они обеспечивали третий, четвертый и пятый желаемые пределы измерений.

На фиг. 24 изображена схема пятишкального лампового вольтметра, являющаяся развитием схемы, изображенной на фиг. 5. В схеме фиг. 24 в сравнении со схемой фиг. 5 сопротивление R_1 заменено сопротивлениями R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6 и R_7, которые и используются для изменения пределов измерений. Переменные сопротивления R_2 и R_3 служат для подгонки шкал вольтметра, рассчитанных на измерение малых напряжений. Переключатель $П_1$ служит для выбора шкалы вольтметра, наивыгоднейшей при измерениях.



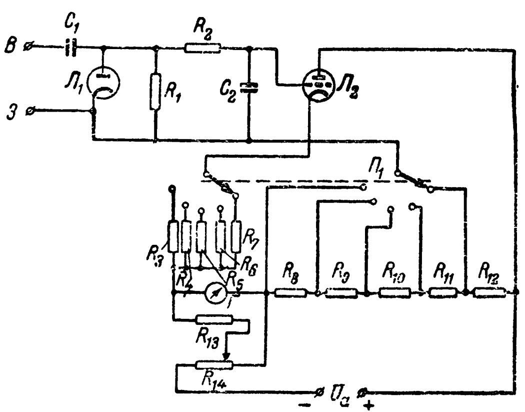
Фиг. 24. Пятишкальный диодный вольтметр с закрытым входом.

В вольтметрах с усилителем постоянного тока для обеспечения многошкальности используется то обстоятельство, что чувствительность такого вольтметра можно менять при помощи изменения сопротивления $R_к$, включенного в цепь катода и изменяя напряжения смещения усилительной лампы. Если сопротивление $R_к$ выполнить в виде нескольких сопротивлений и включать их поочередно в цепь катода, меняя при этом также напряжение смещения усилительной лампы, то мы получим многошкальный вольтметр. На фиг. 25 изображена схема пятишкального вольтметра, использующая это обстоятельство. Сопротивления R_3—R_7, заменяющие сопротивление $R_к$, служат для получения отрицательного смещения на сетку усилительной лампы за счет прохождения анодного тока.

Переключая сопротивления R_3—R_7 в цепи катода, мы меняем чувствительность вольтметра таким образом, чтобы полное отклонение стрелки гальванометра каждый раз соответствовало выбранным нами пределам измерений, т. е. пределам выбранных нами шкал. Потенциометр, состоящий из сопротивлений R_8 — R_{12}, служит для получения положительного смещения на сетку усилительной лампы. Положительное смещение необходимо для того, чтобы при любом из сопротивлений R_3 — R_7, включенных в схему, лампа становилась бы всегда в один и тот же режим работы, одинаковый для всех шкал. Потенциометр R_{14} в этой схеме используется для компенсации начального анодного тока при отсутствии на входе вольтметра измеряемого напряжения.

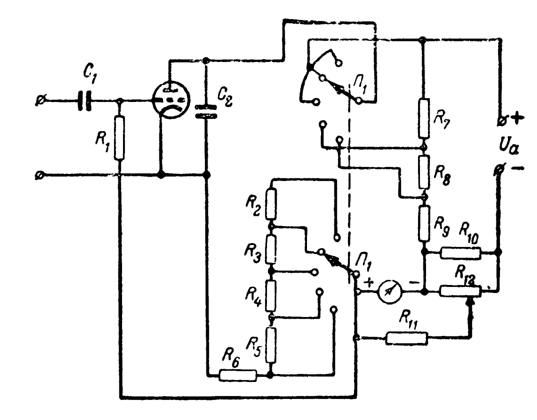
На фиг. 26 приведена схема пятишкального лампового вольтметра с трехэлектродной лампой. В этой схеме для из-

менения чувствительности прибора, а следовательно, и для обеспечения многошкальности, переключаются сопротивления $R_2 — R_6$ в цепи катода. Для обеспечения постоянства режима работы лампы используется потенциометр из сопротивлений R_7, R_8, R_9 и R_{10}, с помощью которого меняется анодное напряжение при переходе с одной шкалы на другую. Для компенсации начального анодного тока используется потенциометр R_{12}, включенный параллельно сопротивлению R_{10}.



Фиг. 25. Пятишкальный амплитудный вольтметр с усилителем постоянного тока.

Расширение пределов измерений в сторону высоких напряжений осуществляется с помощью делителей напряжения.



Фиг. 26. Пятишкальный вольтметр с анодным детектированием.

Наиболее часто пользуются емкостными делителями, пригодными как для низких, так и для высоких частот.

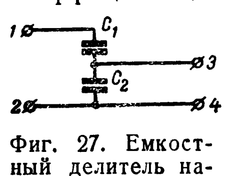
Работу емкостного делителя можно уяснить из фиг. 27. Измеряемое напряжение подводится к зажимам *1* и *2* и распределяется между емкостями C_1 и C_2. К зажимам *3* и *4* подключается вход лампового вольтметра. Таким образом, входная емкость лампового вольтметра будет подключена параллельно емкости C_2 делителя напряжения.

Обозначим входную емкость вольтметра через $C_в$, измеряемое напряжение через U, а показания вольтметра через $U_в$. Тогда без учета активной составляющей входного сопротив-

ления вольтметра, которое сравнительно велико, коэффициент деления

$$k = \frac{U}{U_в} = 1 + \frac{C_2 + C_в}{C_1}.$$

Зная входную емкость вольтметра и выбрав желаемый коэффициент деления, мы можем подсчитать значения емкостей C_1 и C_2 делителя. Предположим, что входная емкость нашего вольтметра равна 10 *мкмкф*, а коэффициент деления k мы хотим иметь равным 10. Тогда по предыдущей формуле:



Фиг. 27. Емкостный делитель напряжения.

$$10 = 1 + \frac{C_2 + 10}{C_1} \quad \text{или} \quad \frac{C_2 + 10}{C_1} = 9;$$

отсюда

$$9C_1 = C_2 + 10 \text{ мкмкф}.$$

Взяв емкость C_1 равной 15 *мкмкф*, будем иметь $C_2 = 125$ *мкмкф*. Входную емкость делителя можно подсчитать по формуле

$$C_{вх} = \frac{C_1 \cdot (C_2 + C_в)}{C_1 + C_2 + C_в}$$

для нашего примера

$$C_{вх} = \frac{15 \cdot (125 + 10)}{15 + 125 + 10} = 13{,}5 \text{ мкмкф}.$$

Обычно для измерений на низкой частоте входная емкость делителя берется равной 150—200 *мкмкф*. На высокой частоте — порядка 8—12 *мкмкф*.

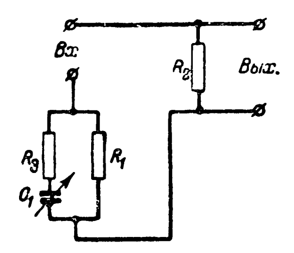
Для удобства регулировки делителя напряжения в качестве емкости C_1 применяют полупеременный конденсатор Емкость C_2 делят на две, одна из которых также служит для регулировки. Конденсаторы, применяющиеся в емкостных делителях напряжения, должны быть высокого качества. Рекомендуется для этой цели применять керамические конденсаторы с малыми потерями.

Для измерений на низких частотах до 100—150 *кгц* применяются также и омические делители напряжения.

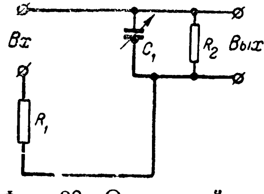
Два варианта схем омического делителя напряжения приведены на фиг. 28 и 29.

Делители такого типа представляют собой обычные делители на сопротивлениях с частотной коррекцией, позволяющей поддерживать постоянство коэффициента деления в широком диапазоне частот.

Гасящими сопротивлениями являются сопротивления R_1. Их величина может быть подсчитана по формуле $R_1 = nR_в - R_в$, где n — желаемый коэффициент деления и $R_в$ — входное сопротивление вольтметра. Для коэффициентов деления 10 и 100 R_1 должны быть соответственно равны $R_1 = 9R_в$ и $R_1 = 99R_в$. Для точной подгонки коэффициента деления используются сопротивления R_2.



Фиг. 28. Омический делитель напряжения с частотной коррекцией.



Фиг. 29. Омический делитель напряжения с частотной коррекцией.

В делителе фиг. 28 сопротивление R_3 и конденсатор C_1 используются для частотной коррекции делителя.

В делителе фиг. 29 корректирующий конденсатор C_1 включен параллельно выходу делителя на вольтметр.

Емкость корректирующего конденсатора для схемы фиг. 28 выбирается в пределах 8—15 *мкмкф* и подбирается точно при регулировке делителя. Корректирующий конденсатор для схемы фиг. 29 зависит от входной емкости вольтметра. Его емкость примерно равна 1,5 $C_в$, где $C_в$ — входная емкость вольтметра.

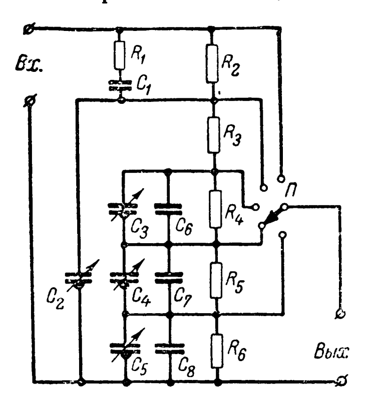
Сопротивления делителя напряжения должны быть безъемкостными и безиндуктивными. Рекомендуется применять непроволочные сопротивления и проволочные сопротивления со специальной безъемкостной намоткой. При использовании непроволочных сопротивлений следует изредка проверять их величины, так как они могут несколько меняться со временем.

Иногда применяются многоступенчатые делители напряжения, где коэффициент деления меняется с помощью переключателя, как это показано на фиг. 30. Такие делители удоб-

ны при работе, однако сложность их регулировки и особенно регулировки корректирующих элементов делает их мало распространенными.

Сопротивления R_2—R_6 служат для получения необходимого коэффициента деления.

Сопротивление R_1 и емкости C_1—C_8, служат для частотной коррекции, при различных ступенях деления.

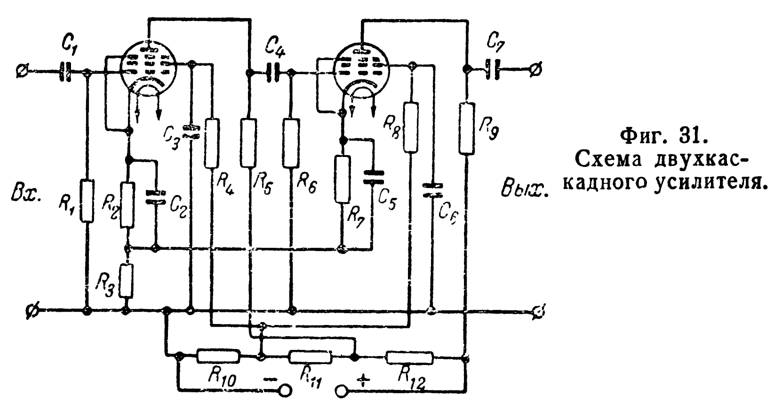


Фиг. 30. Многоступенчатый делитель напряжения с частотной коррекцией.

Для расширения пределов измерений в сторону малых напряжений применяются усилители, включаемые между источником измеряемого напряжения и ламповым вольтметром. Особо широко используются усилители при измерениях на низких частотах до 100—150 *кгц*. Как правило, применяются усилители на сопротивлениях.

На фиг. 31 приведена схема усилителя на двух лампах 6Ж7.

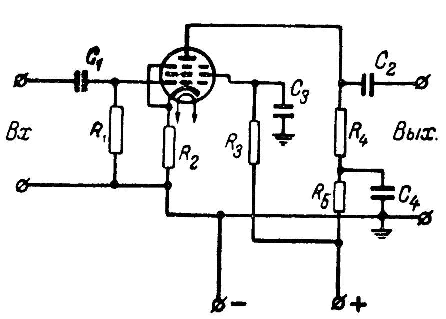
В зависимости от выбранных ламп и числа каскадов, расширение пределов измерений в сторону малых напряжений может быть доведено до нескольких десятков микровольт при достаточно широком диапазоне частот.



Фиг. 31. Схема двухкаскадного усилителя.

Для получения равномерной частотной характеристики в широком диапазоне частот в усилителях применяется сильная отрицательная обратная связь, а анодные нагрузки (со-

противления R_4 и R_9) берутся сравнительно небольшими. Иногда для выравнивания частотной характеристики на высоких частотах в последнем каскаде применяется корректирующий дроссель. Применение сильной обратной связи делает работу усилителя очень устойчивой, практически не зависящей от смены ламп и изменения напряжения питания и, кроме того, повышает линейность шкалы вольтметра.



Фиг. 32. Схема однокаскадного усилителя.

В приведенном на фиг. 31 усилителе применена отрицательная обратная связь по току. Элементом связи служит сопротивление R_3 в цепи катода обеих ламп. Это сопротивление для двух ламп 6Ж7 должно быть порядка 3,5—4 *ом.*

Практически при выборе элементов схемы, определяющих режим, следует руководствоваться следующим.

Конденсаторы C_1 и C_4 должны быть порядка 0,075—0,1 *мкф.*

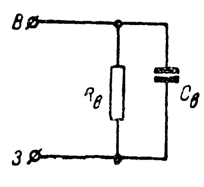
Сопротивления R_1 и $R_в$—порядка 0,5 *мгома,* сопротивления R_5 и R_9—порядка 40 000—50 000 *ом* и сопротивление R_2—порядка 1 500—2 000 *ом.* R_4 и R_8 подбираются при регулировке усилителя. Конденсаторы C_2 и C_5 по 25—30 *мкф.* Конденсаторы C_3 и C_6 выбираются порядка 0,25—0,5 *мкф.* Сопротивления R_{10}, R_{11} и R_{12} служат делителем напряжения. Отводы от них используются для подбора анодных и экранных напряжений при регулировке усилителя.

Такой усилитель может быть, в зависимости от желаемого усиления, собран на одной или трех лампах. Использование более трех каскадов не рекомендуется, потому, что работа усилителя становится неустойчивой, а регулировка весьма трудной. На фиг. 32 представлена схема однокаскадного усилителя на лампе 6Ж7, позволяющая увеличить чувствительность вольтметра в 10—15 раз. Выбор элементов схемы производится таким же образом, как и для схемы фиг. 31.

V ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЛАМПОВОГО ВОЛЬТМЕТРА

Ламповые вольтметры представляют собой некоторую дополнительную нагрузку для цепи, в которой производятся измерения. Весьма часто при измерениях с этим необходимо

считаться. Входное сопротивление лампового вольтметра приблизительно может быть представлено схемой фиг. 33, где $C_в$—входная емкость вольтметра, образованная емкостью между входными электродами лампы и емкостями между проводами и деталями входной цепи, а $R_в$ — входное активное сопротивление вольтметра, образованное сопротивлением между входными электродами лампы, приключенными к этим электродам сопротивлениями, утечками в диэлектриках конденсаторов и изоляторах.



Фиг. 33. Эквивалентная схема входа лампового вольтметра.

Если входное сопротивление $R_в$ вольтметра будет мало, то подключение его к какой-либо цепи будет шунтировать эту цепь. Шунтирующее действие будет оказывать и входная емкость, внося некоторые изменения в параметры цепи.

Чтобы учесть эти изменения, вносимые в цепь, необходимо по возможности точнее знать $C_в$ и $R_в$ вольтметра. Подсчет этих величин очень сложен, поэтому лучше определять $C_в$ и $R_в$ путем измерений.

Входное сопротивление вольтметра может быть с достаточной степенью точности определено следующим образом.

На вход вольтметра подается известное переменное напряжение U и отмечается показание вольтметра U_1, равное напряжению U.

Затем, не изменяя подводимого напряжения, последовательно с вольтметром включается сопротивление R известной величины и снова отмечаются показания вольтметра U_2. Очевидно, что в этом случае подведенное напряжение распределяется между сопротивлением вольтметра $R_в$ и известным сопротивлением R. Разность напряжений $U_1 — U_2$ равна падению напряжения на сопротивлении R.

Входное сопротивление $R_в$ вольтметра может быть подсчитано по формуле

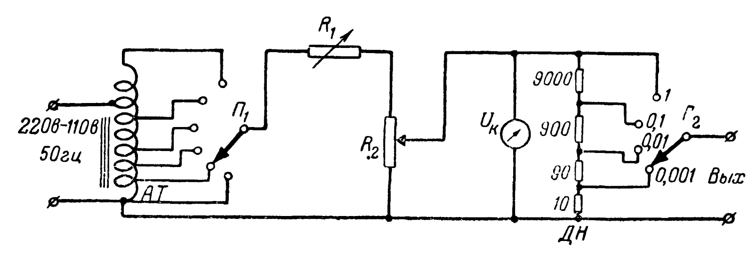
$$R_в = \frac{U_2 \cdot R}{U_1 - U_2}.$$

Сопротивление R должно быть безъемкостным и безиндукционным. Для этой цели может быть использовано непроволочное сопротивление.

Входная емкость может быть измерена методом замещения.

ГРАДУИРОВКА ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Если показания ламповых вольтметров в рабочем диапазоне частот мало зависят от частоты, то градуировку вольтметров производят при частоте 50 *гц*. Удобства градуировки на частоте 50 *гц* заключаются в том, что частота 50 *гц* может быть получена почти в любых условиях — это частота осветительной электросети; в этом случае в качестве контрольных приборов могут быть использованы электромагнитные и электродинамические приборы, имеющие при частоте 50 *гц* очень высокую точность. Кроме того, при частоте 50 *гц* легко получить и осуществить регулировку необходимого для градуировки напряжения



Фиг. 34. Схема градуировки ламповых вольтметров на переменном токе с частотой 50 *гц*.

Градуировка вольтметра заключается в следующем. На вход вольтметра подаются различные напряжения, устанавливаемые по контрольному вольтметру. При этом отмечаются показания по шкале гальванометра, градуируемого вольтметра и составляется график градуировки. Если шкала гальванометра «чистая», то можно наносить отметки непосредственно на шкалу.

Один из вариантов схемы градуировки лампового вольтметра представлен на фиг. 34.

Градуировка производится на частоте 50 *гц*.

Напряжение 110 и 220 *в* подается с автотрансформатора *АТ* на цепь, состоящую из переменного сопротивления R_1 и потенциометра R_2 и далее снимается на делитель напряжения *ДН*, на входе которого включен контрольный вольтметр $U_к$. На выходе делителя после переключателя $П_2$ включается градуируемый вольтметр. Отводы от обмотки автотрансформатора служат для ступенчатой установки напряжения, подводимого к схеме. Максимальное напряжение, снимаемое с автотрансформатора 250 *в*. Отводы сделаны от витков, соответ-

ствующих напряжениям 250, 150, 50, 25 и 10 *в*. Потенциометр R_2 и сопротивление R_1 — проволочные и служат для плавной регулировки напряжения по контрольному вольтметру. $R_2 = 5\,000$ *ом* и $R_1 = 1\,000$ *ом*. Делитель напряжения *ДН* необходим для получения малых напряжений, при градуировке малых соответствующих шкал. Ступени деления могут быть различными, однако для простоты изготовления делителя рекомендуются ступени с коэффициентами деления 1, 10, 100, 1 000. Общее сопротивление делителя равно 10 000 *ом* и составляется из сопротивлений 9 000; 900: 90 и 10 *ом*, включенных, как показано на фиг. 34.

При градуировке вольтметров, рассчитанных на измерения сравнительно больших напряжений, делитель может и не применяться.

Процесс градуировки состоит в следующем. С помощью переключателя $П_1$, потенциометра R_2 и сопротивления R_1 по контрольному вольтметру $U_к$ устанавливается напряжение, соответствующее максимальному значению напряжения, на которое рассчитана шкала градуируемого вольтметра.

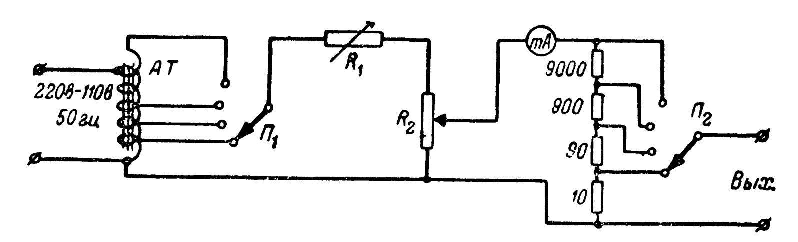
С помощью элементов схемы вольтметра, которые служат для регулировки пределов измерений, стрелка гальванометра вольтметра устанавливается на максимальное деление. Переключатель $П_2$ должен быть при этом в положении *1*. Затем, уменьшая напряжение, подводимое к градуируемому вольтметру, устанавливаются напряжения (по контрольному вольтметру), равные 0,9; 0,8; 0,7; 0,6 и т. д., от максимального значения, полученного в первом отсчете, и отмечаются показания гальванометра градуируемого вольтметра. В случае надобности таким же образом могут быть взяты промежуточные значения напряжения. Если градуируемый вольтметр имеет линейную характеристику, то проверку можно ограничить двумя точками и затем разделить шкалу на равные участки.

В случае, если вольтметр имеет нелинейную характеристику, следует брать как можно больше проверяемых точек.

При пользовании делителем напряжения *ДН* определение напряжения, подведенного к градуируемому вольтметру, производится по следующей формуле: $U_в = \frac{U_к}{n}$, где $U_в$ — напряжение на зажимах градуируемого вольтметра, $U_к$ — показание контрольного вольтметра и n — коэффициент деления делителя.

Например, нам необходимо проградуировать шкалу вольтметра на 2 *в*, гальванометр которого имеет 100 делений. Конт-

рольный вольтметр, имеющийся в нашем распоряжении, имеет наименьшую шкалу 30 *в*. С помощью переключателя $П_1$, потенциометра R_2 и сопротивления R_1 устанавливаем по контрольному вольтметру напряжение, равное 20 *в*. Делитель напряжения устанавливаем на коэффициент деления 10. Тогда к градуируемому вольтметру будет подведено напряжение, равное 2 *в*. Добиваемся получения отклонения стрелки гальванометра вольтметра на деление 100, т. е. положения, когда вся шкала гальванометра будет соответствовать 2 *в*. Для получения точек, соответствующих 0,2 *в* или 0,02 *в*, устанав-



Фиг. 35. Схема градуировки ламповых вольтметров с контрольным миллиамперметром.

ливаем коэффициент деления делителя 100 или 1 000. Получение промежуточных точек производится изменением напряжения, подводимого к делителю и контролируемого вольтметром $U_к$. Так, для получения точки, соответствующей 1,5 *в*, и при коэффициенте деления 10 контрольный вольтметр должен показывать напряжение 15 *в*.

С помощью схемы фиг. 34 можно также проверить градуировку вольтметра, который длительное время был в эксплоатации или ремонтировался. В этом случае переключателем $П_1$, потенциометром R_2 и сопротивлением R_1 напряжение регулируется так, чтобы стрелка проверяемого вольтметра установилась на точку шкалы, которую нужно проверить, затем отсчитывается показание контрольного вольтметра.

Сравнивая показания обоих вольтметров, можно определить погрешность проверяемого прибора. Если показания контрольного вольтметра выше показаний проверяемого, то ошибка имеет знак минус, если же показания контрольного вольтметра ниже показаний проверяемого, то ошибка имеет знак плюс (вольтметр «завышает»). Значение погрешности определяется путем вычитания из больших показаний меньших. Если нужно определить ошибку в процентах, отнесен-

ную ко всей шкале, то это можно сделать по формуле

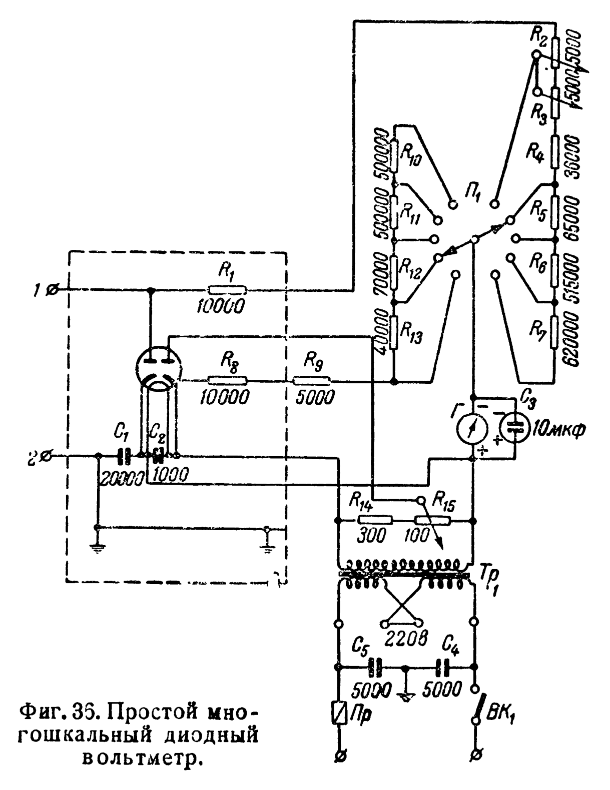
$$\Delta U\% = \frac{U_к - U_в}{U_{в\ макс}} \cdot 100,$$

где $U_{в\ макс}$ — значение напряжения при полном отклонении стрелки прибора.

Градуировку и проверку градуировки лампового вольтметра можно произвести также с помощью контрольного миллиамперметра и известного сопротивления. Для этого может быть использована схема, изображенная на фиг. 35.

ПРОСТОЙ ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР

На фиг. 36 представлена схема простого лампового вольтметра, который без особых трудностей может сделать каждый радиолюбитель.



Фиг. 36. Простой многошкальный диодный вольтметр.

Для уменьшения входной емкости вольтметра лампа 6X6 и часть схемы заключены в выносной «пробник», соединенный с остальной схемой шестижильным экранированным шнуром.

Вольтметр позволяет измерять напряжение от 0,2 до 100 *в* в диапазоне частот от 30 *гц* до 30 *мггц*. Погрешность измерений до 10 *мггц* порядка $\pm$ 4—5%, а от 10 до 30 *мггц* — не более 6—8%.

Входная емкость вольтметра, при тщательно выполненном «пробнике», не превышает 10 *мкмкф*.

Диапазон измеряемых напряжений перекрывается пятью шкалами 2; 5; 10; 50 и 100 *в*. Верхний предел измеряемого напряжения — 100 *в* определяется тем, что на анод лампы 6X6 нельзя подавать более высокого напряжения.

Питание прибора осуществлено от сети переменного тока 110 и 220 *в*.

Измеряемое переменное напряжение через разделительный конденсатор C_1 подводится к одному из диодов лампы 6X6.

Выпрямленный диодом ток измеряется гальванометром *Г*.

Для того чтобы переменная составляющая пульсирующего тока не проходила через гальванометр, он зашунтирован емкостью C_3. Сопротивления R_2, R_3, R_4, R_5, R_6 и R_7 служат для изменения шкал вольтметра. Полупеременные сопротивления используются для начальной установки нуля вольтметра на шкалах 2 и 5 *в*.

Переход с одной шкалы на другую осуществляется с помощью двухполюсного переключателя $П_1$ на пять направлений.

Накал лампы 6X6 осуществляется от сети переменного тока через понижающий трансформатор $Тр_1$.

Второй диод лампы 6X6 используется для получения напряжения для компенсации начального тока измерительного диода. Этот ток при отсутствии компенсации на наиболее чувствительных шкалах вольтметра значительно отклоняет стрелку гальванометра.

Компенсирующий диод работает следующим образом.

Параллельно вторичной обмотке трансформатора *Т р* включен потенциометр, состоящий из сопротивлений R_4 и R_5. С переменного сопротивления R_5 снимается напряжение порядка 1—1,5 *в* с частотой 50 *гц*. Это напряжение, выпрямленное вторым диодом лампы 6X6, создает ток через гальванометр, обратно направленный току измерительного диода.

Так как начальный анодный ток измерительного диода уменьшается при переходе с более чувствительной шкалы на более грубую, то и компенсирующий ток необходимо также

менять. Для изменения компенсирующего тока при переходе со шкалы на шкалу служат сопротивления R_{10}, R_{11}, R_{12} и R_{13}, переключаемые одновременно с изменением шкалы вольтметра переключателем $П_1$.

Конденсатор C_2 блокирует накал лампы 6Х6 по высокой частоте.

Для защиты вольтметра от влияния высокочастотных помех через провода питания служат конденсаторы C_4 и C_5.

Конструктивно вольтметр оформлен в виде двух частей. Первая часть — «выносной пробник», представляет собой металлический стакан, внутри которого размещены лампа 6Х6, конденсаторы C_1 и C_2 и сопротивления R_1 и R_8 Часть схемы, включающая цепи постоянного тока и трансформатор накала, может быть выполнена в любой конструкции. На панели управления должны быть размещены гальванометр $Г$, переключатель шкал вольтметра $П_1$, выключатель питания $В_к$, предохранитель, зажим заземления и корректор нуля вольтметра (переменное сопротивление R_{15}).

Данные сопротивлений и конденсаторов указаны на принципиальной схеме. Величины сопротивлений, находящихся в цепях переключения шкал вольтметра, подбираются точно при налаживании прибора.

Конденсатор C_1 должен быть керамический. Конденсаторы C_2, C_4 и C_5 — слюдяные; C_3 — электролитический 10 *мкф*, 12 *в*. Полупеременные сопротивления R_2 и R_3 — непроволочные. Полупеременное сопротивление R_{15} — проволочное.

Переключатель $П_1$ — галетный. Выключатель $В_{к1}$ — типа «тумблер». Предохранитель $Пр_1$ — типа Бозе на 50 *ма*. Гальванометр $Г$ — на 100 *мка*. В случае применения другого гальванометра постоянные сопротивления, служащие для изменения шкалы вольтметра и компенсации, должны быть пересчитаны.

Трансформатор $Тр_1$ накала лампы 6Х6 намотан на железе Ш-15; сечение сердечника 2,5 *см*^{2}. Первичная обмотка имеет две секции по 3 300 витков проводом ПЭ диаметром 0,1 *мм*. Вторичная обмотка имеет 190 витков проводом ПЭ диаметром 0,5 *мм*. При питании прибора от сети переменного тока 110 *в* секции первичной обмотки включаются параллельно. При питании от сети 220 *в* — последовательно. Переключение секций осуществляется на специальной панельке, укрепленной на трансформаторе.

Монтаж прибора выполнен гибким медным изолированным проводом. Монтаж прибора очень прост и не требует каких-либо специальных указаний. Исключение составляет только

входная цепь вольтметра. Как мы уже говорили, выпрямительная часть вольтметра собрана в выносном «пробнике». При изготовлении и монтаже «пробника» следует учитывать следующие обстоятельства. Зажимы *1* и *2* должны быть разнесены; провод, соединяющий зажим *1* с анодом диода, должен быть как можно короче. Конденсатор C_1 желательно иметь малых размеров, провода, соединяющие его с корпусом и лампой, должны быть короткими. Выполнение этих условий дает возможность уменьшить паразитную емкость монтажа, а следовательно, уменьшить входную емкость вольтметра до величины емкости между анодом и катодом измерительного диода. Регулировка и налаживание вольтметра производятся следующим образом.

Убедившись в правильности монтажа,включить питание и дать прогреться лампе 6Х6 в течение 10—12 минут. Установить движок сопротивления R_{15} в среднее положение. Закоротить вход вольтметра, поставить переключатель шкал вольтметра на шкалу 2 *в* и подобрать сопротивление R_9 так, чтобы стрелка гальванометра установилась на нуль. После этого следует проградуировать шкалу 2 *в*. Так как частотная зависимость вольтметра очень небольшая, градуировку можно производить на переменном напряжении с частотой 50 *гц* (осветительная сеть).

Порядок градуировки нами разобран в разделе «Градуировка ламповых вольтметров».

Подгонка шкалы 2 *в* производится с помощью переменного сопротивления R_2. Шкала 5 *в* подгоняется с помощью переменного сопротивления R_3. Остальные шкалы при хорошо подобранных сопротивлениях R_5, R_6 и R_7 подгонки не требуют.

После градуировки всех шкал гальванометр необходимо снять и на его шкале, соблюдая все предосторожности, нанести деления, соответствующие градуировке шкал на 2 и 10 *в*. Остальные шкалы совпадают со шкалой 10 *в* и получаются делением или умножением шкалы 10 *в* на 0,5, 5 и 10. После нанесения шкал гальванометр следует установить на место.

ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

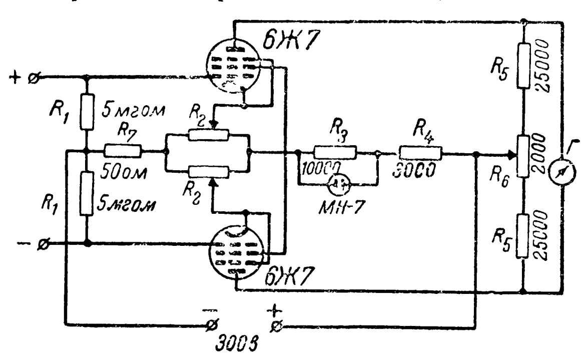
Ламповый вольтметр, не имеющий разделительного конденсатора на входе, может быть применен для измерения напряжения постоянного тока.

В большинстве случаев ламповый вольтметр не дает никаких преимуществ при измерениях на постоянном токе в сравнении с магнитоэлектрическими вольтметрами; точность измерений его значительно ниже.

Однако в некоторых специальных случаях, например, таких, как измерение режимов работы ламп в радиоприемнике, требуется вольтметр с очень высоким входным сопротивлением.

Остановимся в нескольких словах на особенностях измерений напряжений постоянного тока.

Прежде всего режим работы лампы должен быть выбран так, чтобы начальное смещение на сетке превышало максимальное измеряемое напряжение на 1—1,5 *в*. Это необходимо



Фиг. 37. Ламповый вольтметр постоянного тока.

для того, чтобы сеточный ток лампы был равен нулю. При наличии сеточного тока сопротивление цепи катод—сетка резко понижается и становится тем ниже, чем выше сеточный ток.

Входные зажимы вольтметра должны быть друг от друга изолированы хорошим диэлектриком так, чтобы токи утечки практически отсутствовали. Для этой цели желательно зажим в цепи сетки лампы закрепить на фарфоровом изоляторе.

Ламповую панель также следует брать фарфоровой с тем, чтобы утечки между штырьками катода и анода были ничтожны.

Если на входе вольтметра будет применен делитель напряжения, то входное сопротивление делителя должно быть порядка нескольких десятков мегом и сопротивления делителя должны быть хорошо изолированы от «земли». Следует помнить, что невыполнение этих условий поведет к снижению входного сопротивления вольтметра, а следовательно, сведет на нет преимущества лампового вольтметра перед магнитоэлектрическим.

На фиг. 37 представлена одна из схем лампового вольтметра для измерений постоянного тока.

Вольтметр представляет собой усилитель постоянного тока с балансированными плечами и работает на двух лампах типа 6Ж7.

Входное сопротивление такого вольтметра зависит только от величины сопротивлений R_1 на входе вольтметра. Величина этих сопротивлений берется не менее 5 *мгом.*

Сопротивления R_2 служат для балансировки плеч усилителя, с тем, чтобы токи ламп, в отсутствии измеряемого напряжения, не влияли на показания гальванометра. С помощью сопротивлений R_3 и R_4 режим усилителя подбирается так, что увеличение напряжения на аноде и экранирующей сетке вызывает увеличение смещения на сетке на такую величину, чтобы оно компенсировало увеличение анодного и экранного напряжения.

Для подбора режима работы усилителя в анодную цепь одной из ламп включается миллиамперметр и подбирается положение движков потенциометров таким образом, чтобы напряжение на экранирующей сетке при изменении сопротивления R_3 оставалось постоянным.

Правильный подбор сопротивлений R_3 и R_4 определяется тем, что анодный ток при изменении напряжения источника питания остается постоянным. То же самое необходимо проделать, включив миллиамперметр в анодную цепь второй лампы.

Балансировка заканчивается тем, что с помощью потенциометров R_2 и потенциометра R_6 ток через гальванометр при отсутствии измеряемого напряжения устанавливается равным нулю.

Если теперь на вход вольтметра подать измеряемое постоянное напряжение, соблюдая полярность, указанную на фиг. 37, то схема окажется разбалансированной и через гальванометр пойдет ток, пропорциональный измеряемому напряжению.

Если на входе вольтметра включить омический делитель напряжения с большим входным сопротивлением, и переключать ступени деления, то мы получим многошкальный вольтметр.

Распространенной схемой лампового вольтметра постоянного тока является схема лампового моста, собранного на одной или двух лампах.

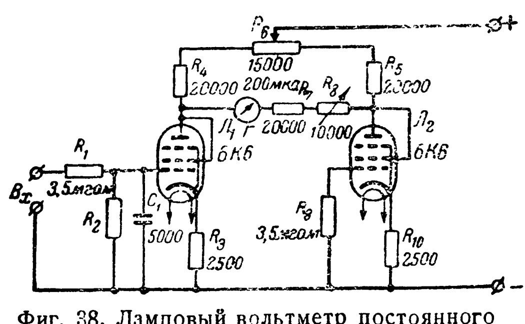
На фиг. 38 приведена схема двухлампового вольтметра постоянного тока.

Два плеча моста собраны на лампах 6К6, два остальных плеча составляют сопротивления R_4 и R_5. В одну из диагона-

лей моста включен гальванометр последовательно с сопротивлениями.

Первоначальная балансировка моста достигается изменением положения движка переменного сопротивления R_6 при закороченных зажимах B_x. Изменяя положение движка сопротивления R_6, стрелку гальванометра приводят к нулю при среднем положении переменного сопротивления R_8.

Измеряемое напряжение, приложенное к сетке лампы $Л_1$, изменяет величину внутреннего сопротивления лампы и нарушает равновесие моста. Величина тока через гальванометр пропорциональна приложенному к сетке измеряемому напряжению.



Фиг. 38. Ламповый вольтметр постоянного тока по схеме моста.

Преимуществом такой схемы является то, что ее показания не зависят от колебаний напряжения питания, что невыполнимо в других схемах.

Входное сопротивление вольтметра может быть очень высоким — до нескольких десятков и даже сотен мегом при условии, что вход вольтметра не имеет утечек.

Вольтметр может измерять напряжение от 0,2 — 0,3 *в*. Многошкальность вольтметра может быть достигнута либо применением высокоомного делителя на его входе, либо шунтированием гальванометра *Г*.

ЛАМПОВЫЙ АМПЕРМЕТР

Ламповые амперметры нашли применение главным образом при измерении малых значений постоянного и переменного токов.

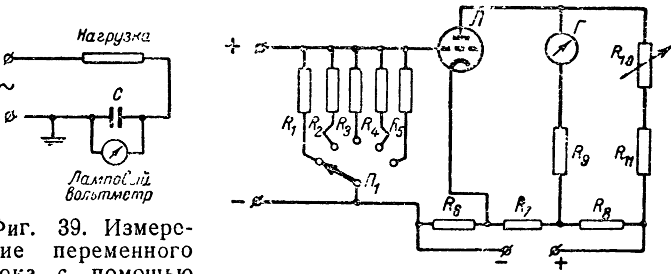
Одним из методов измерения малых токов с помощью электронных ламп является метод измерения напряжения на небольшом конденсаторе с очень малым током утечки.

Заряд этого конденсатора производится измеряемым током. Чувствительность амперметра увеличивается с уменьшением емкости конденсатора.

В качестве измерителя напряжения на конденсаторе может быть использован ламповый вольтметр с малой входной емкостью и малыми утечками. Недостатком этого метода яв-

ляется то, что заряд конденсатора зависит от частоты измеряемого тока и вольтметр не может быть проградуирован непосредственно в значениях измеряемого тока.

На фиг. 39 приведена схема измерения тока по этому методу. В качестве емкости C применяется керамический конденсатор, обладающий малыми потерями. В качестве вольтметра используется вольтметр типа ВКС-7 или вольтметр, собранный по схеме фиг. 9. При подсчете тока' емкость C



Фиг. 39. Измерение переменного тока с помощью конденсатора и лампового вольтметра.

Фиг. 40. Ламповый амперметр постоянного тока.

определяется как емкость конденсатора плюс емкость вольтметра.

Описанный метод благодаря малой точности и громоздкости применяется очень редко. Другой метод измерений тока с помощью электронной лампы основан на измерении падения напряжения на сопротивлении, через которое проходит ток.

Этот метод применяется при измерениях малых постоянных токов. Схема амперметра, работающего по этому методу, представлена на фиг. 40. Амперметр представляет собой сочетание сопротивления, через которое проходит измеряемый ток, и усилителя постоянного тока.

Проходящий через сопротивление ток, создает на нем падение напряжения. Это напряжение подается на сетку лампы усилителя постоянного тока и вызывает изменение анодного тока, которое и регистрируется гальванометром. При высокой стабильности сопротивления R гальванометр может быть отградуирован непосредственно в значениях силы тока.

Для расширения пределов измерений сопротивление R делается ступенчатым, как и показано на фиг. 40.

Ламповые амперметры как самостоятельные приборы применяются редко. Обычно амперметр входит как составной элемент в схемы универсальных приборов.

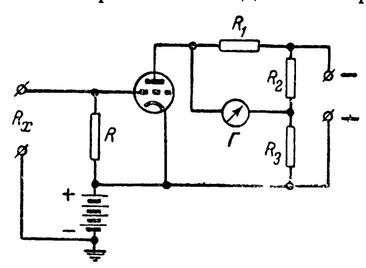
Для подсчета сопротивлений R_1—R_5 необходимо знать величину напряжения U, которое нужно подвести к сетке для получения полного отклонения гальванометра. Тогда если известны необходимые шкалы амперметра, сопротивления R_2—R_5 могут быть подсчитаны по закону Ома: $R = \frac{U}{I}$, где I — верхний предел тока для данной шкалы. Подбор начального смещения и компенсирующего тока гальванометра производится сопротивлениями R_6, R_7, R_8 и R_{11}.

Сопротивление R_{10} служит для точной регулировки компенсирующего тока. Сопротивление R_9 служит для спрямления градуировочной кривой.

ЛАМПОВЫЙ ОММЕТР

Метод измерения падения напряжения на известном сопротивлении, используемый для ламповых амперметров, может быть применен и для измерения сопротивлений.

В этом случае последовательно с известным сопротивлениям R включается измеряемое R_x и отдельный источник тока с известным напряжением.



Фиг. 41. Принцип работы лампового омметра.

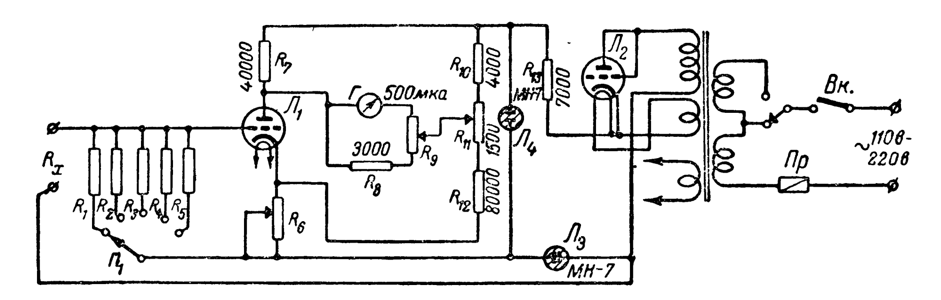
Изменение падения напряжения на известном сопротивлении за счет включения измеряемого сопротивления вызывает изменение показаний гальванометра в анодной цепи усилителя. Величина изменения показаний гальванометра обратно пропорциональна величине измеряемого сопротивления, поэтому гальванометр может быть проградуирован в значениях измеряемых сопротивлений.

На фиг. 41 представлена схема лампового омметра, использующая этот метод.

Усилитель постоянного тока регулируется так, что при закороченных зажимах R_x, когда все напряжение батареи $Б$ падает на сопротивление R, гальванометр дает максимальное отклонение, которое принимается за нуль омметра. Если теперь к зажимам R_x присоединить измеряемое сопротивление, то напряжение батареи $Б$ распределится между сопротивлениями R и R_x. Напряжение, снимаемое на сетку лампы усилителя с сопротивления R, уменьшится, и гальванометр пока-

жет меньший ток. Чем больше сопротивление R_x, тем меньше напряжение будет падать на сопротивлении R и тем меньше будет ток через гальванометр. Поэтому гальванометр может быть проградуирован непосредственно в значениях измеряемого сопротивления. Если сопротивление R выполнить в виде нескольких сопротивлений, переключаемых или отсоединяемых, то можно получить многошкальный ламповый омметр.

Ламповые омметры могут иметь очень широкий диапазон измеряемых сопротивлений, от десятых долей ома до десятков и сотен мегом.



Фиг. 42. Ламповый омметр с питанием от сети переменного тока.

На фиг. 42 представлена схема лампового омметра, позволяющая измерять сопротивления от нескольких ом до 100 *мгом*.

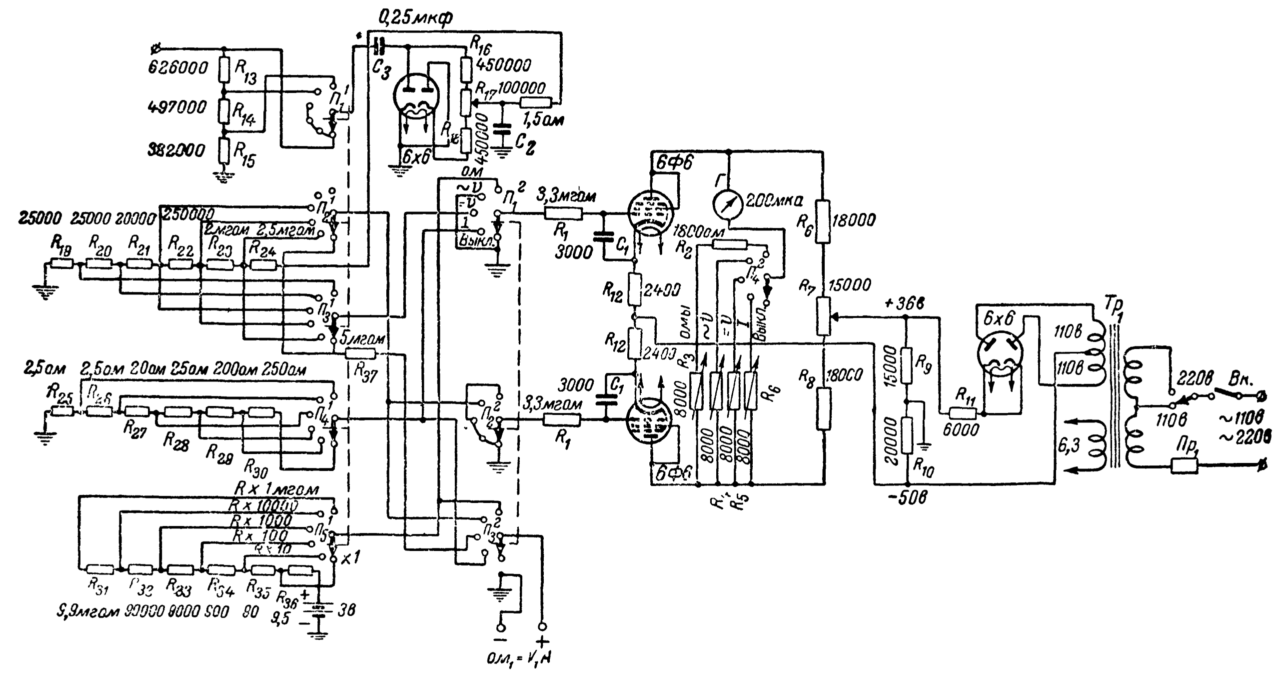
Схема состоит из пяти эталонных сопротивлений 100, 1 000, 10 000, 100 000 *ом* и 1 *мгом*. Сопротивления включаются переключателем $П_1$ в схему усилителя постоянного тока, собранного на лампе 6Ф5, в анодной цепи которой включен миллиамперметр на 500 *мка*. Источником питания служит выпрямитель на лампе 6Ф5.

Выпрямленное напряжение стабилизировано с помощью двух неоновых ламп типа МН-7.

Напряжение, снимаемое с неоновой лампы $Л_3$, используется для получения тока через эталонное и измеряемое сопротивление, а снимаемое с лампы $Л_4$ — для питания усилителя постоянного тока.

При разомкнутых зажимах R_x гальванометр дает отклонение на всю шкалу; при замкнутых зажимах ток через гальванометр равен нулю.

Таким образом, нуль омметра находится в начале шкалы. Пять положений переключателя $П_1$ соответствуют следующим



Фиг. 43. Универсальный измерительный ламповый прибор.

пределам измерений: 1) — до 10 000 *ом*, 2) — до 100 000 *ом*, 3) — до 1 *мгом*, 4) — до 10 *мгом* и 5) — до 100 *мгом*.

Потенциометры R_9 и R_{11} служат для установки стрелки гальванометра на нуль при замкнутых зажимах.

Потенциометр R_6 служит для установки начального смещения лампы $Л_1$, соответствующего максимальному отклонению стрелки гальванометра при разомкнутых зажимах.

Ввиду того что омметр может измерять очень большие сопротивления, входные цепи его должны быть выполнены тщательно, изоляционные материалы не должны иметь заметных утечек, а детали должны быть хорошо изолированы от корпуса.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЛАМПОВЫЙ ПРИБОР

Универсальный ламповый измерительный прибор, схема которого приведена на фиг. 43, позволяет производить следующие измерения:

1. Напряжения переменного и постоянного тока до 1 000 *в* со следующими пределами: 0—5; 0—10; 0—50; 0—100; 0—500 и 0—1 000 *в*.

Входное сопротивление вольтметра при измерении напряжения переменного тока равно около 0,25 *мгом*; входная емкость порядка 100 *мкмкф*. Входное сопротивление при измерениях напряжения постоянного тока постоянно и равно 11 *мгом* на всех пределах измерений.

2. Силы постоянного тока до 1 *а* со следующими пределами: 0—1 *а*; 0—500 *ма*; 0—100 *ма*; 0—50 *ма*; 0—10 *ма* и 0—5 *ма*.

3. Омического сопротивления до 1 000 *мгом* с пределами измерений 0—1 000 *ом*, 0—10 000 *ом*, 0—100 000 *ом*, 0—1 *мгом*, 0—10 *мгом* и 0—1 000 *мгом*.

Прибор представляет собой сочетание вольтметра переменного тока с диодным детектором, вольтметра постоянного тока, амперметра постоянного тока и омметра, принцип работы которых мы разобрали ранее.

Основным элементом прибора является усилитель постоянного тока, собранный на двух лампах 6Ф6. В анодной цепи усилителя включен гальванометр на 200 *мка* и регулировочные сопротивления, которые служат для балансировки тока через гальванометр при регулировке прибора и смене ламп 6Ф6.

Питание усилителя осуществляется от сети переменного тока 110 и 220 *в* 50 *гц*.

В качестве выпрямителя применена лампа 6Х6. Выпрямитель нагружен на потенциометр, состоящий из сопротив-

лений R_9—R_{10}. Начальное напряжение выпрямителя порядка 110 *в*.

Измерение напряжения постоянного тока производится путем подачи на вход усилителя измеряемого напряжения через делитель напряжения R_{19}—R_{24} и R_{37}. Выбор необходимого предела измерения производится путем переключения секций делителя напряжения R_{19}—R_{24} с помощью переключателя $П_3'$.

Напряжение переменного тока, поданное на вход прибора, поступает на делитель напряжения R_{13}—R_{15}, выпрямляется диодным детектором на лампе 6Х6 и затем, через делитель напряжения R_{19}—R_{24} — на вход усилителя постоянного тока. Режим работы детектора, а также делители напряжения — R_{13}—R_{15} и R_{19}—R_{24} выбраны так, что шкала вольтметра переменного тока получается линейной и совпадает со шкалой вольтметра постоянного тока.

Измерение силы постоянного тока производится путем измерения падения напряжения на эталонных сопротивлениях R_{25}—R_{30}. Выбор необходимого предела измерений производится изменением величины сопротивления, с которого снимается напряжение на усилитель. Пределы измерений выбраны с таким расчетом, чтобы шкалы амперметра совпадали со шкалами вольтметров.

Омическое сопротивление измеряется тем же методом, что и сила тока

В этом случае в качестве источника тока в цепи используется сухая батарея на 3 *в*. Напряжение батареи распределяется между эталонными сопротивлениями R_{31}—R_{36} и измеряемым сопротивлением. О величине измеряемого сопротивления судят по падению напряжения на эталонных сопротивлениях.

Пределы измерений определяются выбором величины эталонного сопротивления.

Переключатель $П^2$ — четырехполюсный на пять положений — служит для выбора рода измерений и выключения прибора. С его помощью необходимая входная часть схемы подключается к усилителю постоянного тока, выбирается режим усилителя и подключаются к гальванометру элементы регулировки.

Переключатель $П^1$ — пятиполюсный на шесть направлений служит для выбора шкалы при измерениях. Этот переключатель может быть выполнен в виде пяти отдельных переключателей. Переменные сопротивления R_3, R_4, R_5 и R_6 служат для начальной установки нулевого тока гальванометра, при налаживании прибора и при смене ламп 6Ф6.

Сопротивление R_3 используется также при установке нуля омметра перед измерением.

Потенциометр R_7 служит для установки нулевого тока гальванометра перед измерениями.

Если все указанные на схеме величины делителей напряжения взяты точно, а величины сопротивлений в схеме усилителя постоянного тока взяты с отклонениями не более $\pm5\%$, то градуировка и калибровка прибора очень несложны.

Калибровка прибора заключается в следующем.

С помощью вольтметра постоянного тока необходимо убедиться, что напряжение, снимаемое с выпрямителя, распределено между секциями делителя R_9—R_{10} так, как обозначено на схеме.

Поставив переключатель $П^2$ в положение «$= V$», потенциометр R_7 регулируется так, чтобы стрелка индикатора установилась точно на нулевое положение.

Затем переключатель $П^1$ устанавливается на шкалу «5 *в*» и на вход прибора подается постоянное напряжение, равное 5 *в*. Напряжение проверяется точным вольтметром. Вращением ползунка сопротивления R_5 стрелка гальванометра устанавливается на максимальное деление.

После этого переключатель $П^2$ устанавливается в положение «$\sim V$», а переключатель $П^1$ — в положение «100 *в*». На вход вольтметра переменного тока подается переменное напряжение 100 *в*, и сопротивление R_4 регулируется таким образом, чтобы стрелка гальванометра отклонилась на всю шкалу. Выключив переменное напряжение и поставив переключатель в положение «А», проверяется установка нуля амперметра. Установка нуля амперметра производится с помощью сопротивления R_6.

Градуировка шкалы гальванометра производится с помощью контрольных приборов и эталонных сопротивлений.

ЛАМПОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА УКВ

На ультракоротких волнах ламповые вольтметры на обычных лампах дают большие погрешности и имеют низкое входное сопротивление.

Это объясняется тем, что на УКВ начинают значительно сказываться такие факторы, как время пролета электронов между электродами, индуктивности вводов и взаимоиндуктивности между вводами электродов, междуэлектродные емкости, емкости монтажа и диэлектрические потери в лампах и изоляционных материалах.

Время пролета электронов между электродами лампы становится на УКВ уже одного порядка с периодом измеряемого напряжения и сильно сказывается на входном сопротивлении и других параметрах лампы.

Значения междуэлектродных емкостей и емкости монтажа становятся на УКВ сравнительно большими и могут вносить существенные изменения в параметры и режим работы цепей, в которых производятся измерения.

Индуктивности вводов и взаимоиндуктивности между вводами лампы и монтажа могут с различными емкостями образовывать паразитные колебательные контуры и паразитные связи.

Диэлектрические потери в лампах и изоляционных материалах, резко растущие с повышением частоты, также сильно влияют на входное сопротивление вольтметра.

Уменьшение диэлектрических потерь на УКВ достигается применением специальных высокочастотных диэлектриков, применением безцокольных ламп и подачей измеряемого напряжения непосредственно на электроды лампы.

Уменьшение влияния других факторов достигается применением в ламповых вольтметрах специальных ультракоротковолновых ламп, таких как «желуди» и «пальчиковые», в которых расстояние между электродами и размеры электродов делаются малыми.

Применение специальных ламп и особое конструктивное оформление высокочастотной части вольтметра позволяют создать вольтметры, пригодные для измерений до 500—1 000 *мггц*.

Ламповые вольтметры для измерений на УКВ могут быть построены как на двух-, так и на трехэлектродных лампах. Принципиальные схемы вольтметров для измерений на УКВ не отличаются от схем, применяемых на более низких частотах. Вопрос лишь заключается, как уже было сказано, в применяемых лампах и конструкции входа вольтметра.

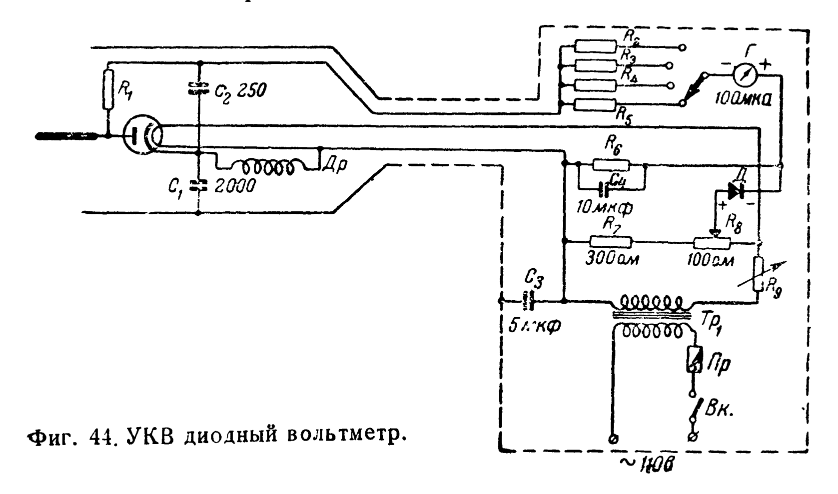
На фиг. 44 приведена схема четырехшкального диодного вольтметра.

В схеме может быть применена лампа 9004 типа «желудь». Вольтметр при тщательном выполнении высокочастотной части пригоден для измерений напряжений на 100 *в* в диапазоне частот до 500 *мгц*.

Входное активное сопротивление вольтметра, хотя и резко изменяется с частотой, все же остается достаточно высоким, порядка нескольких тысяч ом. Входная емкость вольтметра порядка нескольких микромикрофарад.

Высокочастотная часть вольтметра выполнена в виде выносного экранированного «пробника», который соединяется с остальной частью схемы экранированным шнуром.

Высокопотенциальным вводом вольтметра служит вывод анода лампы, на который в случае надобности может быть надет наконечник. Вторым вводом служит экран «пробника». Чаще всего пробник выполняется таким, чтобы его можно было включать в измеряемую цепь непосредственно, избегая соединительных проводов.



Фиг. 44. УКВ диодный вольтметр.

Экран «пробника» соединен с катодом лампы через разделительный конденсатор C_1. Нагрузкой диода служат сопротивления R_1, одно из сопротивлений R_2, R_3, R_4, R_5 и сопротивление R_6, а также гальванометр *Г*. Сопротивления R_2, R_3, R_4 и R_5 служат для обеспечения многошкальности вольтметра.

Конденсатор C_2 — блокировочный в анодной цепи для отвода на катод переменной составляющей после детектирования напряжения. Дроссель *Др* преграждает путь высокой частоте в цепи питания.

Питание накала лампы осуществляется от сети переменного тока через понижающий трансформатор $Тр_1$ и реостат R_9.

Вторичная обмотка трансформатора нагружена, кроме нити накала, на потенциометр R_7—R_8. С переменного сопротивления R_8 снимается напряжение порядка 1,5 *в*. Это напряжение, выпрямленное с помощью купроксного детектора *Д* используется для компенсации начального тока через гальванометр. Установка стрелки гальванометра на нуль производится перед

началом измерений, с помощью переменного сопротивления R_8 при закороченном входе вольтметра.

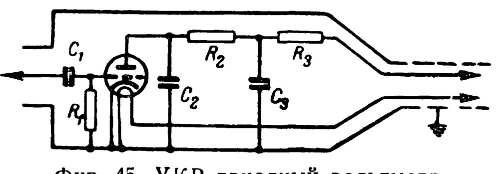
Сопротивление R_6 служит нагрузкой для купроксного выпрямителя и одновременно является частью анодной цепи.

На фиг. 45 приведена схема высокочастотной части триодного вольтметра для измерений в диапазоне УКВ до 300 *мггц*.

В качестве детекторной лампы используется триод 9 002 «пальчикового» типа.

Так же, как и в предыдущем случае, высокочастотная цепь выполнена в виде «пробника».

Высокопотенциальный ввод вольтметра выполнен в виде тонкого штырька, укрепленного на высокочастотном изоляторе.



Фиг. 45. УКВ триодный вольтметр.

Измеряемое напряжение подводится к сетке лампы через конденсатор C_1, который с сопротивлением R_1 образует гридлик.

Сопротивление R_2 и конденсаторы C_2 и C_3 образуют фильтр для высокочастотной составляющей.

«Пробник» экранированным кабелем соединяется с остальной частью схемы вольтметра, которая включает гальванометр, элементы обеспечения многошкальности, элементы компенсации анодного тока и выпрямитель. Эти элементы схемы вольтметра обычные. Вольтметр, собранный на лампе 9002, позволяет измерять напряжение от 0,025 *в* до 2—2,5 *в*.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУИРОВАНИИ ЛАМПОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Прежде чем приступить к выбору схемы и конструкции вольтметра, необходимо ясно определить, какими техническими характеристиками он должен обладать.

К таким характеристикам относятся прежде всего верхний и нижний пределы измеряемого напряжения, допустимая погрешность измерений, входное активное сопротивление и входная емкость, частотный диапазон вольтметра, какое, амплитудное, эффективное или среднее значение напряжения должно измеряться и, наконец, способ питания.

Все эти характеристики определяются в основном выбором детекторной лампы, чувствительностью гальванометра и раз-

мерами его шкалы и конструктивным оформлением высокочастотной части.

Для обеспечения измерений напряжения от 0,5 до 100—150 *в* рекомендуется применять двухэлектродные лампы, так как только эти лампы обеспечивают такой широкий диапазон измеряемых напряжений. Кроме того, они требуют только источника питания накала, что очень упрощает питающее устройство. Входное сопротивление вольтметра получается хотя и ниже, чем у трехэлектродной лампы, но в большинстве случаев достаточно высокое.

Входная емкость вольтметра в зависимости от выбранной лампы и конструкции входа может быть доведена до нескольких *мкмкф*.

Для измерений эффективного значения напряжения может быть рекомендована схема, представленная на фиг. 24 и фиг. 40. Для измерений амплитудного значения напряжения следует остановиться на схеме фиг. 25.

В случае питания накала лампы от батарей или аккумуляторов в качестве детекторной лампы лучше всего применять экономичный триод УБ-240 с закороченной на анод сеткой.

При питании накала лампы от сети переменного тока через трансформатор следует применять подогревные лампы 6Х6, 955, 9004, 9002.

Для измерения напряжений малой величины следует применять трехэлектродные лампы.

Выбор лампы определяется нижним пределом измеряемого напряжения, необходимым анодным напряжением и, при питании накала лампы от батарей, потребляемым током.

Чувствительность вольтметра определяется крутизной, а величина необходимого анодного напряжения — коэффициентом усиления. Поэтому наивыгоднейшими лампами следует считать лампы с высокой крутизной и малым коэффициентом усиления.

Для достижения высокого входного сопротивления необходимо, чтобы лампа работала на участке характеристики, где отсутствует сеточный ток. Рекомендуется постоянное сеточное смещение брать на 1,5—2 *в* больше, чем максимальное напряжение, измеряемое вольтметром.

Анодное напряжение, в зависимости от величины смещения сетки, выбирается таким, чтобы рабочая точка приходилась на желаемый участок характеристики. Для квадратичного вольтметра она должна лежать на криволинейном участке характеристики. Для вольтметра с линейной характеристикой — в начале характеристики. В этом случае анодное напряжение

должно быть равно максимальному измеряемому напряжению, умноженному на коэффициент усиления.

Если вольтметр рассчитывается для измерений напряжений в диапазоне частот до 100—250 *кгц*, то детекторную лампу можно размещать в общем для всего вольтметра корпусе, не применяя особых мер для экранировки.

Для частот свыше 100 *кгц* до 30 *мгц* детекторная часть схемы должна быть вынесена в отдельный пробник и подключаться к источнику измеряемого напряжения либо непосредственно, либо с помощью очень коротких проводов. Пробник должен быть хорошо экранирован, а лампа, монтаж и входные зажимы размещены так, чтобы емкость входа была минимальной.

Для частот до 30 *мгц* могут применяться обычные лампы.

Для частот свыше 30 *мггц* обязательно следует применять ультракоротковолновые лампы типа «жолудь» или «пальчиковые». Для входных зажимов «пробника» необходимо применять высокочастотные изоляционные материалы такие, как полистирол, высокочастотную керамику и др.

Для частот свыше 100 *мггц* «пробник» рекомендуется делать так, чтобы он включался непосредственно, без проводов, к источнику измеряемого напряжения.

Способ компенсации начального анодного тока выбирается произвольно.

В вольтметрах с усилителем постоянного тока рекомендуется для компенсации начального анодного тока усилительной лампы пользоваться схемой фиг. 9.

В качестве гальванометра следует использовать микроамперметр на 100—250 *мка*. При меньшей чувствительности гальванометра нельзя получить высокое входное сопротивление вольтметра. Более чувствительные гальванометры, как правило, имеют очень непрочную конструкцию. В усилителях постоянного тока гальванометр может быть и меньшей чувствительности.

Сопротивления, служащие для обеспечения многошкальности вольтметра, должны быть стабильны. Лучше всего применять проволочные сопротивления. В схеме фиг. 23 эти сопротивления должны быть безъемкостными и безиндукционными.

Конструктивное оформление частей, в которых течет постоянный ток, и источников питания может быть выполнено произвольно. Органы регулировки, необходимые только при налаживании прибора, должны быть скрыты. Гальванометр, переключатель шкал, ручки установки нуля, выключатель и входные зажимы следует сосредоточить на одной панели. Если

вольтметр имеет выносной «пробник», необходимо предусмотреть место для его укладки в общей упаковке при нерабочем состоянии прибора.

В качестве примера электрической и механической конструкции лампового вольтметра читателю рекомендуется ознакомиться с вольтметром типа ВКС-7, выпускаемым нашей промышленностью, подробные указания о котором читатель может найти в следующих книгах:

1. Г. А. Ремез и С. Г. Иткин, Радиоизмерения и радиоизмерительная аппаратура.

2. Г. А. Ремез, Радиоизмерения.

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЛАМПОВЫМ ВОЛЬТМЕТРОМ

Подготовка вольтметра. В силу того, что подогревные электронные лампы, применяемые в вольтметре, требуют некоторого времени для разогрева, питание вольтметра следует включать за несколько минут до производства измерений.

Устойчивые показания вольтметра получаются после некоторого прогрева всей схемы в целом. Для ламп с непосредственным накалом это составляет приблизительно 3—6 минут после включения питания. Для ламп с косвенным накалом это время несколько больше и достигает 10—15 минут, в зависимости от типа и количества ламп. Поэтому ламповый вольтметр перед измерениями необходимо «прогреть» в течение 10—15 минут.

После этого необходимо установить нуль вольтметра, если это предусмотрено. Для этого входные зажимы вольтметра закорачиваются, переключатель шкал устанавливается на самый малый предел измерений и ручкой установки нуля стрелка гальванометра устанавливается в нулевое положение.

Убедившись, что стрелка гальванометра в течение некоторого времени не уходит с нуля, следует проверить установку нуля на остальных шкалах и оставить переключатель в положении наибольшего предела измерений.

После этого на входные зажимы следует подать измеряемое напряжение и установить переключатель шкал в положение, при котором получаются удобные для отсчета показания гальванометра. При подаче на вход вольтметра измеряемого напряжения к высокопотенциальному зажиму следует присоединять провод с более высоким потенциалом.

Измерение напряжений звуковой частоты. Если один провод источника измеряемого напряжения заземлен, то его нужно присоединить к зажиму «земля» вольтметра.

Если в цепи, где производится измерение напряжения звуковой частоты, имеется еще постоянное напряжение, то для измерений пригодны только вольтметры с закрытым входом.

Применять вольтметр с открытым входом можно только в том случае, если последовательно с ним включить конденсатор емкостью 8—10 *мкф*, а между зажимами вольтметра включить сопротивление порядка 10—20 *мгом*. Конденсатор препятствует попаданию на вход вольтметра постоянного напряжения, а сопротивление служит для подачи смещения на сетку лампы.

Если при измерении напряжения звуковой частоты имеются значительные высокочастотные наводки в подводящих проводах, то параллельно зажимам входа вольтметра необходимо включить конденсатор емкостью 100—250 *мкмкф*, что сильно ослабляет влияние наводки и очень незначительно влияет на точность показаний вольтметра.

При измерении напряжений звуковой частоты, имеющих несинусоидальную форму, рекомендуется применять вольтметры с квадратичной характеристикой или двухтактные схемы, которые дают в этом случае меньшие ошибки.

Измерение напряжений высокой частоты. Измерение напряжений высокой частоты до 100—150 *кгц* может производиться вольтметрами, не имеющими вынесенной высокочастотной части — «пробника». Необходимо только стремиться, чтобы соединительные провода были как можно короче и шли вместе для уменьшения самоиндукции. При заметной самоиндукции могут образоваться резонансные контуры, образованные самоиндукцией проводов и входной емкостью вольтметра, что приведет к завышению показаний вольтметра. В остальном порядок измерений остается тем же, что и для звуковых частот.

При измерениях напряжений с частотой выше 100—150 *кгц* и до 30 *мггц* следует пользоваться вольтметрами с «пробниками» для уменьшения влияния входной емкости вольтметра. Подключение вольтметра к измеряемой цепи или источнику напряжения следует производить без проводов; особенно это касается высокопотенциальной клеммы.

При измерениях на частотах свыше 30 *мггц* детекторная часть вольтметра должна быть собрана на специальных УКВ лампах, а на частотах свыше 100 *мггц* измеряемое напряжение нужно подавать непосредственно на электроды лампы или через небольшой высококачественный конденсатор.

Если вольтметр употребляется для измерений всегда в одной и той же цепи «пробник» должен быть приспособлен для непосредственного включения в эту цепь.

При измерениях высокочастотных напряжений на контурах, катушках самоиндукции или конденсаторах необходимо учитывать влияние входного сопротивления и входной емкости вольтметра на параметры цепи.

Если входное сопротивление вольтметра мало, то подключение его к конденсатору или катушке вызовет повышение затухания колебаний, т. е. повышения декремента контура. Повышение затухания контура за счет параллельно включенного сопротивления входа вольтметра равносильно внесению в контур большого последовательного сопротивления; это сопротивление $R_{вн}$ можно подсчитать по формуле

$$R_{вн}=\frac{x^2}{R_в},$$

где x — реактивное сопротивление катушки или конденсатора, к которому подключен вольтметр.

Для конденсатора $x_c=\frac{1}{6,28f\cdot C}$. Для катушки $x_L=6,28\cdot f\cdot L$, где f — в герцах, C — в фарадах и L — в генри.

Входная емкость $C_в$ вольтметра также вносит изменения в параметры схемы, изменяя ее емкость, а для контура и резонансную частоту.

Для того чтобы влияния $R_в$ и $C_в$ были незначительными, необходимо, чтобы $R_в$ было высоко, а $C_в$ мало.

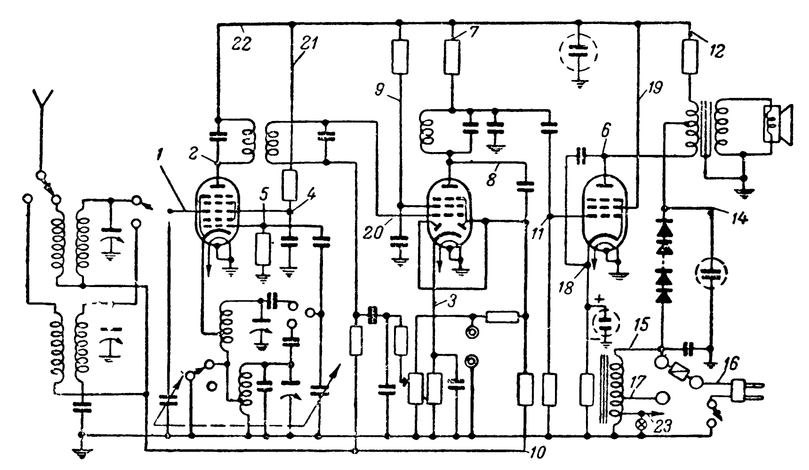
При маломощных источниках высокочастотного напряжения с влиянием входного сопротивления следует особо считаться. Так, например, при измерениях напряжения, развиваемого первым гетеродином приемника, вольтметром с малым входным сопротивлением можно очень значительно изменить режим работы гетеродина и даже сорвать генерацию.

Применение ламповых приборов. Для того чтобы показать широкие возможности, представляемые ламповыми приборами, обратимся для примера к фиг. 46. Здесь изображена схема радиоприемника «Москвич-В». С помощью ламповых приборов можно полностью исследовать работу всех каскадов и цепей приемника. С помощью лампового вольтметра постоянного тока можно измерить постоянные напряжения питания, напряжения смещения, напряжения АРЧ и амплитуду генерации гетеродина. Напряжения измеряются относительно «земли».

Постоянное питающее напряжение после выпрямителя может быть определено в точках *14* и *12*. Анодные напряжения

ламп в точках *2*, *8* и *6*, экранные напряжения в точках *4*, *9*, *19*. Напряжение смещения в точках *3* и *18*. Напряжение АРЧ в точках *1*, *7* и *10*.

Потребляемые отдельными лампами и всем приемником токи в целом можно измерить с помощью лампового амперметра постоянного тока. Общий ток измеряется в разрыве у точки *12*, анодные токи ламп — в разрывах у точек *6*, *20* и *22* и токи экранных сеток — в разрывах у точек *19*, *9* и *21*.



Фиг. 46. Измерения в цепях радиоприемника с помощью ламповых приборов.

Вольтметром переменного тока можно измерить напряжение питающей сети в точках *16* и *17*, напряжения накала ламп — в точке *23* и на ножках ламп, напряжение, подводимое к выпрямителю,— в точке *15*.

Вольтметром с закрытым входом можно измерить звуковое напряжение на первичной обмотке выходного трансформатора, напряжение, подводимое к сетке выходной лампы, — в точке *11* и напряжение на сетке предварительного усилителя — в точке *7*.

Напряжения фона можно измерить в точке *14*.

Ламповым омметром можно проверить исправность всех цепей приемника, проверить исправность сопротивлений, трансформаторов, дросселей катушек контуров и т. д.

Из приведенного примера видно, насколько широко могут быть использованы ламповые приборы.

Цена 1 р. 75 к.